

Seqüestro de Carbono

QUANTIFICAÇÃO EM SERINGAIS DE CULTIVO E NA VEGETAÇÃO NATURAL

Antônio de Pádua Alvarenga
Ciríaca A. Ferreira de Santana do Carmo

Antônio de Pádua Alvarenga, natural de Campo Belo, Minas Gerais, é Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa, Mestre e Doutor em Fitotecnia com teses em Seleção de cafeeiros e Manejo de Solo-Planta, respectivamente. Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG, lotado no Centro Tecnológico da Zona da Mata situado em Viçosa-MG, trabalha com as culturas do Café e da Seringueira.

Ciríaca A. F. de Santana do Carmo, natural de Belém, Pará, é Engenheira Agrônoma pela Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Mestre em Fisiologia Vegetal e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa. Ex-pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, lotada no Centro Nacional de Pesquisa de Solos Rio de Janeiro. Atualmente trabalha como consultora em projetos de Heveicultura.

Seqüestro de Carbono
Quantificação em Seringais de Cultivo e na
Vegetação Natural



Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Biológicas
Departamento de Biologia Geral



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Solos



Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Centro Tecnológico da Zona da Mata

Seqüestro de Carbono

Quantificação em Seringais de Cultivo e na Vegetação Natural

Editores
Antônio de Pádua Alvarenga
Ciríaca Arcângela Ferreira de Santana do Carmo

Viçosa
2006

© 2006 by Antônio de Pádua Alvarenga e Ciriaca A. Ferreira de Santana do Carmo

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida sem a autorização escrita e prévia dos editores.

Impressão, Diagramação e acabamento

Suprema Gráfica e Editora Ltda

Tel: (32) 3551-2546

Capa

Emerson Mendes Rodrigues
Antônio de Pádua Alvarenga

Foto da capa

Antônio de Pádua Alvarenga

Seringal da Fazenda Experimental Vale do Piranga – FEVP – Oratórios - MG

Revisão lingüística

Ana Maria de Gouveia Almeida

Impresso no Brasil

***Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da
Biblioteca Central da UFV***

S479
2006

Seqüestro de carbono : quantificação em seringais de
cultivo e na vegetação natural / Antônio de Pádua
Alvarenga, Ciriaca Arcângela Ferreira de Santana do
Carmo, editores – Viçosa, MG ; 2006.
352p. : il. col. ; 22cm.

Inclui bibliografia.

ISBN 85-85864-23-0

1. Seqüestro de carbono - Brasil, Sudeste.
2. Seqüestro de carbono - Brasil, Sul.
3. Ecologia agrícola - Brasil, Sudeste - Planejamento.
4. Ecologia agrícola - Brasil, Sul - Planejamento.
5. Seringueira. I. Alvarenga, Antônio de Pádua, 1951- .
II. Carmo, Ciriaca Arcângela Ferreira de Santana do.

CDD 22.ed. 363.7387

Aquisição de exemplares

EPAMIG

Centro Tecnológico da Zona da Mata – CTZM
Vila Giannetti 46, Campus da UFV
36570.000 – Viçosa – Minas Gerais
Tel. (31) 3891-2646
e-mail: ctzm@epamig.br

EMBRAPA

Centro Nacional de Pesquisa de Solos – CNPS
Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico
22460.000 – Rio de Janeiro – RJ
Tel. (21) 3274.4999
e-mail : cnps@embrapa.br

Agradecimentos

Ao Projeto de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologia Agropecuária para o Brasil (PRODETAB), pelo apoio financeiro na execução da pesquisa e publicação deste livro.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos (EMBRAPA – CNPS) e à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – Centro Tecnológico da Zona da Mata (EPAMIG – CTZM), pelo apoio.

Ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), na pessoa do professor Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, pelas relevantes sugestões.

Aos pesquisadores e autores dos artigos que compõem esta obra, por compartilhar suas pesquisas e experiências.

À Fundação Artur Bernardes (FUNARBE), pela gestão dos recursos desta publicação, à senhorita Bruna de Oliveira Lourenço e ao senhor Frederico Silva Santana pela atenção.

Aos funcionários da Fazenda Experimental Vale do Piranga – FELP, em especial ao senhor Josias Bitencourt, gerente da fazenda, pela sua atenção durante a realização dos trabalhos de campo.

*Antônio de Pádua Alvarenga
Ciriaca A. Ferreira de Santana do Carmo*

Ministério da Educação – MEC

Ministro

Fernando Haddad

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

Reitor

Ronaldo Tadêu Pena

Instituto de Ciências Biológicas – ICB

Diretor

Maria Cristina Lima de Castro

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA

Ministro

Luis Carlos Guedes Pinto

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

Presidente

Silvio Crestana

Centro Nacional de Pesquisa de Solos – CNPS

Chefe Geral

Celso Vainer Manzatto

Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – SEAPA

Secretário

Marco Antônio Rodrigues da Cunha

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG

Presidente

Baldonedo Arthur Napoleão

Centro Tecnológico da Zona da Mata – CTZM

Chefe

Juliana Cristina Vieccelli

APRESENTAÇÃO

A produção nacional de borracha natural, um produto cada vez mais estratégico para o País, atende apenas 30% da nossa demanda interna anual, que cresce cerca de 11%. As provisões de consumo de borracha em 2020, para o Brasil, é da ordem de 360.000 toneladas para uma produção estabilizada de 120.000 toneladas. Algumas simulações sobre a evolução da demanda mundial de borracha natural apontam para uma tendência crescente de sua falta também no mercado internacional.

A cultura da seringueira tem impactos econômicos e sociais extremamente positivos para o agronegócio brasileiro. Trata-se de um cultivo renovável, cuja produção proporciona uma rentabilidade atrativa ao agricultor, adequada à pequena produção e à agricultura familiar, fixando populações no meio rural.

A *Hevea brasiliensis* é árvore nativa da Amazônia, e tem-se expandido para as Regiões Sudeste, Centro-oeste e Sul do Brasil, configurando-se como uma alternativa produtiva para a pequena e média propriedades rurais e uma estratégia política para a fixação do homem no campo, revitalizando territórios economicamente deprimidos. Adicionalmente, essas regiões possuem condições climáticas favoráveis ao cultivo comercial da seringueira por apresentarem um período seco definido, coincidente com o reenfolhamento da planta, evitando assim a ocorrência de doenças foliares, o que as torna “áreas de escape”.

Do ponto de vista ambiental, plantios de seringueira preservam mananciais, protegendo e melhorando as propriedades físicas do solo, o clima, a flora e a fauna. Por ser uma essência florestal perene, poderá contribuir para a redução do efeito estufa, pois, pelo processo fotossintético, promove a captura dos gases ao retirar CO₂ da atmosfera e incorporá-lo à biomassa na presença da luz solar. Nesse sentido, pesquisas realizadas na Malásia, demonstraram que o carbono seqüestrado por cultivos de seringueiras é equivalente ao carbono capturado por florestas naturais.

No Brasil, não havia estudos similares para as condições agroecológicas do Sudeste e do Sul, o que motivou a Embrapa-Solos, a

EPAMIG e a Universidade Federal de Minas Gerais a desenvolverem o projeto intitulado “*Caracterização, valoração e análise comparativa do seqüestro de carbono na heveicultura: bases técnicas e científicas para o agronegócio e mercado de commodities ambientais*”, contando com o financiamento do Projeto de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologia Agropecuária para o Brasil (PRODETAB- Projeto nº 050-01/01).

Os resultados desse Projeto, bem como os obtidos em teses de mestrado e doutorado na Universidade Federal de Viçosa, em Minas Gerais, além daqueles do projeto financiado pelo *Inter-American Institute for Global Change Research* (Instituto Interamericano para Pesquisas em Mudanças Climáticas–IAI), no Paraná, foram consolidados neste livro, contando com a colaboração de eminentes pesquisadores de diversas instituições de pesquisas, que demonstram o potencial de seqüestro de carbono da seringueira comparado ao de florestas naturais, além dos outros benefícios sociais e ambientais, uma vez que seringais de cultivo constituem uma atividade altamente sustentável e claramente elegível nos critérios do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

*Celso Vainer Manzatto
Chefe Geral da Embrapa Solos*

SUMÁRIO

Capítulo 1 - A seringueira no contexto das negociações sobre mudanças climáticas globais

Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, Marcos Hiroshi Nishi, Márcio Lopes da Silva, Sebastião Renato Valverde, Antônio de Pádua Alvarenga..... 01

Capítulo 2 - Caracterização dos solos sob seringais cultivados e vegetação natural

Paulo Emílio Ferreira da Motta, Uebi Jorge Naime 43

Capítulo 3 - Aspectos climáticos da Zona da Mata Mineira

Alexandre Ortega Gonçalves..... 63

Capítulo 4 - Biomassa e estoque de carbono em seringais implantados na Zona da Mata de Minas Gerais

Ciríaca Arcângela Ferreira de Santana do Carmo, Celso Vainer Manzatto, Antônio de Pádua Alvarenga, Sérgio Gomes Tosto, Jorge Araújo de Sousa Lima, Andréia Kindel, Neli A. Meneguelli 77

Capítulo 5 - Composição, estrutura e biomassa de fragmentos florestais

Jorge Araújo de Sousa Lima, Andreia Kindel, Ciríaca Arcângela F. de Santana do Carmo, Paulo Emílio Ferreira da Motta..... 111

Capítulo 6 - Ciclagem de nutrientes e estoque de carbono na serrapilheira em seringais e fragmentos de Mata Atlântica

Andréia Kindel, Ciríaca A. Ferreira de Santana do Carmo, Jorge Araújo de Sousa Lima, Bruno Simões, Antônio de Pádua Alvarenga, Daniel Vidal Pérez..... 135

Capítulo 7 - Estoques de carbono e caracterização de substâncias húmicas em solos sob seringais cultivados e vegetação natural

Luciana da Conceição Rios, Mauro da Conceição, Daniel Vidal Pérez, Wilson Sant'anna de Araújo..... 159

Capítulo 8 - Quantificação da biomassa e do carbono orgânico em pastagens naturais na Zona da Mata –MG	
Domingos Sávio Queiroz, Ciriaca Arcângela Ferreira de Santana do Carmo, Sérgio Gomes Tosto, Antônio de Pádua Alvarenga, Jorge Araújo de Sousa Lima.....	179
Capítulo 9 - Análise comparativa da decomposição de folhas de seringais e de duas tipologias de floresta Atlântica: procurando uma imagem do ecossistema local.	
Rodrigo Pinto da Matta Machado.....	191
Capítulo 10 - Carbono na biomassa e na respiração do solo em plantio comercial de seringueiras no Paraná	
Dalzila de Oliveira, Jomar da Paes Pereira, André Luiz Medeiros Ramos, Paulo Henrique Caramori, Celso Jamil Marur, Heverly Morais, Cláudia Wagner-Riddle, Paul Voroney	201
Capítulo 11 - Sistemas Agroflorestais	
Rodrigo Silva do Vale, Renato Luiz Grisi Macedo, Laércio Couto, Francinelli Angeli Francisco do Vale, Nelson Venturin.....	215
Capítulo 12 - Consórcio Seringueira-Cacau e geração de créditos de carbono	
Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, Michelle Karina Cotta, Haroldo Nogueira de Paiva, Carlos Pedro Boechat Soares, Adonias de Castro Virgens Filho.....	257
Capítulo 13 - O Agronegócio da Borracha Natural	
Patrícia Lopes Rosado, Mônica de Moura Pires, Dione Fraga dos Santos	287
Capítulo 14 - A heveicultura e a geração dos certificados de emissões reduzidas	
Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, Tarcísio José Gualberto Fernandes, Carlos Pedro Boechat Soares, Márcio Lopes da Silva, Antônio de Pádua Alvarenga	315

PREFÁCIO

A demanda por informações sobre o seqüestro de carbono pelos diferentes ecossistemas tem aumentado à medida que os gases de efeito estufa estão sendo responsabilizados pelos desastres do meio ambiente. Pretende-se pois , nesta obra, levar aos produtores, estudantes e profissionais da área de ciências agrárias resultados de pesquisa que possam dar suporte a futuros trabalhos que envolvam o mesmo tema .

Com a aprovação do projeto *Caracterização, valoração e análise comparativa de seqüestro de carbono na heveicultura: bases técnicas e científicas para o agronegócio e o mercado de commodities ambientais*, financiado pelo Projeto de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologia Agropecuária para o Brasil (PRODETAB Projeto 050-01/01) e coordenado pela Embrapa Solos, iniciou-se esta pesquisa. O projeto, elaborado com enfoque multidisciplinar e interinstitucional, foi assim subdividido: Subprojeto 1- “Quantificação do carbono na fitomassa (áerea e radicular) da vegetação natural, de seringais cultivados e de pastagem degradada”; Subprojeto 2- “Estudo do estoque de carbono e caracterização de substâncias húmicas em solos de vegetação natural, seringais cultivados e pastagem degradada”; e Subprojeto 3- “Valoração econômica, social e ambiental do seqüestro de carbono na heveicultura e nos sistemas agrícolas visando o fortalecimento da cadeia produtiva da seringueira”, sob a responsabilidade da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), da Embrapa Solos e da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), respectivamente.

Encontram-se, aqui, também os resultados do projeto financiado pelo *Inter-American Institute for Global Change Research* (Instituto Interamericano para Pesquisas em Mudanças Climáticas- IAI), coordenado por pesquisadores do Instituto Agropecuário do Paraná (IAPAR), bem como, resultados de teses de mestrado e doutorado de pesquisadores e professores da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Os resultados evidenciam as formas em que o carbono é armazenado nos diversos ecossistemas estudados. Assim, para apresentar esses resultados e abordar, de forma didática, os conhecimentos acumulados durante a execução destes projetos, foram escritos 14 capítulos, contendo:

Estudo dos critérios de sustentabilidade pela exploração da seringueira, pela utilização do eucalipto na produção de celulose e pela resinagem de pinus, bem como o potencial destas três espécies na obtenção de créditos de carbono, tornando-as elegíveis ao Mecanismo Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto; caracterização dos solos e os aspectos climáticos da região da Zona da Mata mineira, local do referido estudo; dados de biomassa e estoque de carbono nas partes aérea e radicular dos clones de seringueira IAN 873 e RRIM 600, implantados na Zona da Mata de Minas Gerais; composição, estrutura e biomassa dos fragmentos florestais da Zona da Mata; influência de diferentes clones de seringueira nas características dos solos e na reconstituição dos estoques orgânicos do solo e da sua condição nutricional; quantificação do efeito do manejo da matéria orgânica e seus componentes em solo sob o cultivo dos clones de seringueira IAN 873 e RRIM 600; quantificação da biomassa e o carbono orgânico estocado pela pastagem natural representativa da região; o caminho do carbono contido nas folhas depositadas como serrapilheira na superfície do solo e que se encontram em processo de decomposição na vegetação natural e nos seringais implantados; os resultados dos estudos dos pesquisadores do Estado do Paraná, visando avaliar o potencial das plantações de seringueira para seqüestrar carbono atmosférico por meio da quantificação do carbono fixado na biomassa e no carbono emitido através da respiração do solo; sistemas agroflorestais como forma de otimizar a produção, vislumbrando as potencialidades de uso da seringueira em projetos de reflorestamento e também em composição de reserva legal, ambos elegíveis para a obtenção de créditos de carbono; quantificação da biomassa e a análise econômica do consórcio seringueira-cacau para geração de créditos no mercado de carbono; as principais tendências de produção, exportação, consumo e importação da borracha natural no Brasil e o mercado internacional e sua importância no agronegócio; e finalmente foi ressaltada a importância e a viabilidade econômica da cultura da seringueira, na geração de empregos, na fixação do homem no campo e o real potencial de contribuição desta espécie no Certificados de Emissões Reduzidas (CRES).

Espera-se que este livro venha contribuir com informações sobre o potencial da vegetação natural e de seringais de cultivo para estocar carbono atmosférico, beneficiando os produtores rurais de seringueira, esclarecendo melhor as relações ambientais solo-clima-planta e os custos financeiros envolvidos na produção, base para uma exploração agrícola racional. A revitalização da heveicultura, capitalizada pelo mercado de *commodities* ambientais, pode beneficiar social e economicamente uma parcela significativa de pequenos e médios produtores, atualmente descapitalizados e com poucas opções produtivas.

Os dados obtidos no Projeto podem ser utilizados para a elaboração dos planos estaduais de fomento a heveicultura e seqüestro de carbono e como arcabouço metodológico para outras atividades agrícolas com potencial similar, subsidiando e oferecendo uma alternativa, para uma política de produção de borracha natural baseada no agronegócio e no mercado de *commodities* ambientais.

Esses dados e critérios técnico-científicos serão necessários à negociação entre os países e o futuro mercado de carbono.

Antônio de Pádua Alvarenga
Ciríaca A. Ferreira de Santana do Carmo

Capítulo 1

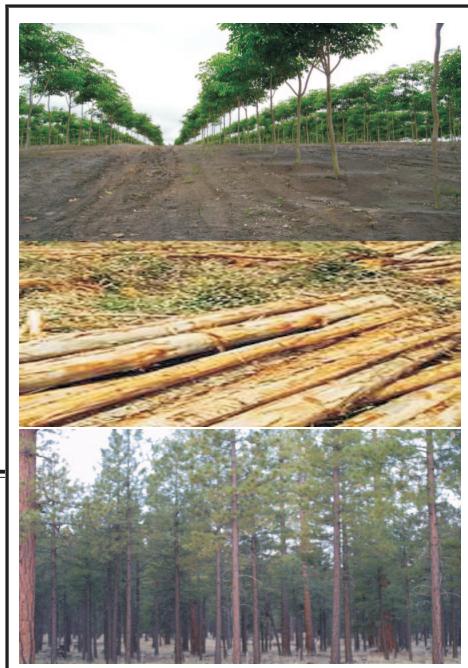
Laércio Antônio G. Jacovine¹

Marcos Hiroshi Nishi²

Márcio Lopes da Silva¹

Sebastião Renato Valverde¹

Antônio de Pádua Alvarenga³



A SERINGUEIRA NO CONTEXTO DAS NEGOCIAÇÕES SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

¹ Professores do Departamento de Engenharia Florestal da UFV,
e-mail: jacovine@ufv.br , marlosil@ufv.br, valverde@ufv.br

² Engº Florestal, Mestre em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, MG.
e-mail:hironishi2003@yahoo.com.br

³ Pesquisador da EPAMIG,
e-mail: padua@epamig.ufv.br

AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A mudança do clima é um dos mais graves problemas ambientais enfrentados nos últimos anos, podendo ser considerada uma das mais sérias ameaças à sustentabilidade do meio ambiente, à saúde e ao bem-estar humano e à economia global (CEBDS, 2002; LOPES, 2002).

Cientistas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC relatam que há fortes evidências de que a ação humana tem grande responsabilidade na mudança do clima do planeta (IPCC, 2001b). De acordo com Frangetto e Gazani (2002), o risco de um aquecimento global exagerado se deu principalmente após a Revolução Industrial, à medida que houve aumento do uso de combustíveis fósseis nos meios de produção, elevando quase 50% níveis de concentração de gases poluentes, entre eles os chamados Gases de Efeito Estufa – GEE, que têm a capacidade de reter calor e alterar tanto o equilíbrio térmico quanto o climático do planeta.

A principal consequência prevista, devido ao aumento na concentração desses gases, é o aumento da temperatura global. Estima-se que a temperatura média da superfície terrestre tenha sofrido um acréscimo de 0,6°C no século passado (SCARPINELLA, 2002), e alguns cientistas prevêem um aumento da ordem de 5,8 °C para os próximos cem anos (COUTINHO, 2004).

Segundo IPCC (2001a), a década de 1990 e o ano de 1998 foram os mais quentes desde 1861, quando se iniciaram as medições de temperatura por instrumentação. É muito provável que tenha ocorrido uma redução nas temperaturas extremamente baixas, com pequeno acréscimo na freqüência de temperaturas extremamente altas.

Especialistas temem que o aquecimento global possa causar graves danos à humanidade, aos ecossistemas e à biodiversidade do planeta. A ocorrência de fenômenos extremos em várias partes do mundo, como a elevação do nível do mar, as mudanças no regime de chuvas, a perda da biodiversidade, o aumento da incidência de doenças transmissíveis por

mosquitos e outros vetores, tem sido atribuída principalmente ao aumento da temperatura na Terra (IPCC, 2001b).

O EFEITO ESTUFA

A atmosfera terrestre é constituída de gases que permitem a passagem da radiação solar e que absorvem parte do calor emitido pela superfície aquecida da Terra (MOLION, 1995). Noventa e nove por cento desses gases são predominantemente nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2), e os outros 1% são gases em pequenas quantidades, os GEE, entre eles o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e o vapor d'água. Esses gases recebem essa denominação por apresentar a propriedade de aprisionar o calor emitido pela superfície terrestre e pela atmosfera, impedindo-o de se dissipar para o espaço (BNDES, 1999; MCT, 2006).

Segundo Campos (2001), o efeito estufa funciona da seguinte forma: a energia da radiação eletromagnética emitida pelo Sol atinge a atmosfera na forma de radiação luminosa (ondas curtas); parte da radiação é refletida pela atmosfera, parte é absorvida e outra parte atravessa a atmosfera, alcançando a superfície terrestre, que reflete uma parcela da radiação eletromagnética e absorve outra. As radiações absorvidas participam de processos físicos e sua energia transforma-se, resultando na emissão de calor pela Terra, sob a forma de radiação térmica (ondas longas). O calor irradiado pela Terra se dissipa para o espaço, e parte dele é aprisionado na atmosfera pelos GEE.

Molion (1995) afirma que o efeito estufa é um fenômeno natural que faz com que a temperatura média da superfície terrestre mantenha-se em torno de 15 °C. Se não ocorresse esse fenômeno, a temperatura média do planeta seria de aproximadamente 18°C abaixo de zero, ou seja, o efeito estufa é responsável por um aumento de cerca de 33°C, criando, assim, condições para vida no planeta. Entretanto, a concentração excessiva desses gases na atmosfera vem causando aquecimento em um nível que afeta o clima global significativamente.

Seqüestro de Carbono

Entre os GEE, o dióxido de carbono (CO_2), devido à quantidade em que é emitido, é o gás que mais contribui para o aquecimento global; suas emissões representam aproximadamente 55% do total e o seu tempo de permanência na atmosfera é de no mínimo cem anos. Por sua vez, a quantidade de metano (CH_4) emitida para a atmosfera é bem menor, mas seu potencial de aquecimento é 20 vezes superior ao do CO_2 . No caso do óxido nitroso (N_2O) e dos clorofluorcarbonos (CFCs), suas concentrações na atmosfera são ainda menores, porém seu poder de aquecimento é, respectivamente, 310 e 6.200 a 7.100 vezes maior que o do CO_2 (CARVALHO et al., 2002).

Segundo o IPCC, cerca de 3/4 das emissões antrópicas de dióxido de carbono para a atmosfera, nos últimos 20 anos, são decorrentes da queima de combustíveis fósseis, principalmente pelos setores industriais e de transportes. A quarta parte restante é predominantemente devida à mudança do uso do solo, a queimadas e a desmatamentos (SCARPINELLA, 2002).

AS POLITICAS SOBRE AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As políticas internacionais sobre as mudanças climáticas iniciaram-se em 1988, quando a Assembléia Geral das Nações Unidas declarou ser a mudança do clima uma preocupação comum à humanidade (YAMIN e DEPLEDGE, 2003).

Em 1990, o primeiro relatório do IPCC sobre mudanças climáticas advertia que, embora existissem muitas incertezas, a atividade humana estava conduzindo ao aumento das concentrações atmosféricas de CO_2 e às temperaturas ascendentes. Esse relatório foi a principal referência para a Segunda Conferência Mundial do Clima, em que concluiu a necessidade de se estabelecer um tratado internacional sobre o tema. Em dezembro de 1990, a Assembléia Geral da ONU aprovou o início das negociações para esse tratado, estabelecendo o Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção

Seqüestro de Carbono

Quadro sobre Mudança do Clima (YAMIN e DEPLEDGE, 2003).

Na intenção de conter o agravamento do quadro de tendência e evidência de um aquecimento global exagerado, foi feito, em 1992, pelas Nações Unidas, um tratado internacional, a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas – CQNUMC, objetivando alcançar a estabilização das concentrações de GEE na atmosfera, de forma a impedir que a interferência do homem no meio ambiente provoque um desequilíbrio ameaçador sobre o sistema físico climático (FRANGETTO e GAZANI, 2002).

CONVENÇÃO QUADRO DAS NACÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS –CQNUMC

Essa Convenção foi assinada inicialmente pelo Brasil durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, que se realizou no Rio de Janeiro, de 3 a 14 de junho de 1992. Foi ratificada por 186 países e entrou em vigor em 21 de março de 1994 (CONVENÇÃO DO CLIMA, 1995).

A CQNUMC tem dois princípios básicos: precaução e responsabilidade comum, porém diferenciada. O primeiro princípio refere-se ao fato de que a ausência de plena certeza científica não deve ser usada como razão para que os países posterguem a adoção de medidas para prever, evitar ou minimizar as causas da mudança do clima e mitigar seus efeitos negativos (CAMPOS, 2001). O segundo afirma que as necessidades específicas e circunstanciais dos países em desenvolvimento devem ser consideradas e que a iniciativa de combate à mudança do clima e seus efeitos devem ser dos países desenvolvidos, já que estes estão diretamente relacionados com as emissões de GEE (FRANGETTO e GAZANI, 2002).

Em virtude desses princípios, os países signatários da Convenção foram divididos em Países Anexo I, aqueles com compromisso de redução de GEE, e Países não-Anexo I, demais integrantes da CQNUMC (SCARPINELLA, 2002).

Após a entrada da CQNUMC em vigor, em 1994, os representantes dos países signatários passaram a se reunir anualmente para tomar decisões em prol do combate das mudanças climáticas. Esses encontros são chamados de Conferências das Partes – COPs (CARVALHO et al., 2002).

AS CONFERÊNCIAS DAS PARTES – COPs

A primeira Conferência das Partes – COP1 foi realizada, em 1995, em Berlim, na Alemanha. Nessa ocasião, ficou definida a cidade de Bonn como sede do Secretariado da Convenção, estabeleceu-se uma fase-piloto para as atividades implementadas conjuntamente e foi elaborado o Mandato de Berlim (CAMPOS, 2001).

Esse Mandato estabeleceu que os países desenvolvidos deveriam – com base no princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada – definir, num protocolo, limitações quantificadas e objetivos para a redução das suas emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouro de todos os GEE não controlados pelo Protocolo de Montreal, bem como descrever as políticas e as medidas que seriam necessárias para alcançar essas metas. Com isso, o grupo *Ad Hoc* de Berlim iniciou a elaboração de uma proposta para o Protocolo a ser apresentado em 1997, durante a COP 3, em Quioto, no Japão (CAMPOS, 2001).

Em 1996, em Genebra, Suíça, na realização da COP 2, foi assinada a Declaração de Genebra, que contemplava o acordo para a criação de obrigações legais de metas de redução para os países do Anexo I. Durante essa Conferência, foi apresentado também o II Relatório de Avaliação do IPCC, fornecendo suporte à convergência de uma base científica internacional sobre o problema (MMA, 2002; CARVALHO et al., 2002).

A COP 3 ocorreu em 1997, em Quioto, no Japão. Esta Conferência pode ser considerada uma das mais importantes, uma vez que foi estabelecido, entre as Partes, um protocolo que definiu metas e prazos relativos à redução ou à limitação das emissões de GEE para os países do Anexo I. Esse acordo ficou conhecido como Protocolo de Quioto (BNDES, 1999; MCT, 2006).

Em 1998, na COP 4, realizada em Buenos Aires, foi elaborado o Plano de Ação de Buenos Aires, para implementar e ratificar o Protocolo de Quioto. As COPs 5, 6, 6½ e 7, realizadas em Bonn (1999), Haia (2000), Bonn (2001) e Marrakesh (2001), respectivamente, procuraram terminar os trabalhos estipulados no Plano de Ação de Buenos Aires. No que se refere à COP 6, as negociações foram suspensas devido à ausência de acordo entre a União Européia e os Estados Unidos em assuntos relacionados a sumidouros e às atividades de mudança do uso da terra. A retomada das negociações se deu com a COP 6½, em junho de 2001. Contudo, os Estados Unidos já haviam se retirado do processo de negociação, afirmando que não ratificariam o Protocolo de Quioto, alegando que os custos da redução de emissões seriam muito elevados para a economia americana, além de contestar a não-existência de metas para os países do sul, em especial os grandes emissores como China, Índia e Brasil (CARVALHO et al., 2002).

Na COP 8, realizada em Nova Delhi, na Índia, em 2002, foi adotada a Declaração de Delhi sobre Mudança do Clima e Desenvolvimento Sustentável (IISD, 2003). Segundo WWF/UNA (2002), citado por Fernandes (2003), a COP 8 frustrou as expectativas de organizadores, organismos não-governamentais – ONGs, ambientalistas, pesquisadores e representantes do governo, por não ter alcançado soluções definitivas para os principais impasses que atrasavam a vigoração do Protocolo.

Durante a COP 9, realizada em Milão, Itália, em dezembro de 2003, deu-se continuidade às discussões sobre a regulamentação das atividades de LULUCF - *Land Use, Land Use Change and Forest* (Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas), incluindo definições e modalidades para projetos de

Seqüestro de Carbono

florestamento e reflorestamento; estabelecimento de créditos temporários – tCERs e de créditos a longo prazo – ICERs; definição de projetos de pequena escala; e opções metodológicas para inventariar e relatar as emissões decorrentes dessas atividades (IISD, 2003).

A COP 10 foi realizada em Buenos Aires, na Argentina, de 6 a 17 de dezembro de 2004. Dentre os assuntos discutidos nesta Conferência, merecem destaque a entrada em vigor do Protocolo de Quioto em fevereiro de 2005; os compromissos políticos para redução dos GEE na atmosfera após 2012 (final do período de vigência do Protocolo); e a apresentação do inventário das emissões de GEE do Brasil.

A COP 11 foi realizada entre 28 de novembro e 9 de dezembro de 2005, em Montreal, no Canadá, concluída com três principais decisões:

- Acordo para que se continuem as negociações visando o pós-primeiro período de compromisso, compreendido entre os anos de 2008 e 2012, ou seja, a partir de 2013.
- Busca de maior envolvimento dos países em desenvolvimento nos esforços globais para evitar o agravamento das mudanças climáticas. Pelo Protocolo de Quioto, o Brasil – e demais países em desenvolvimento – não tem metas para reduzir as emissões, apesar de ser um dos maiores emissores mundiais, em função do desmatamento. Em Montreal, foi reiterada a necessidade de maior compromisso dos países em desenvolvimento, inclusive porque alguns deles – como China e Índia, além do Brasil – estão seguindo um caminho de uso cada vez mais intensivo dos combustíveis fósseis. Nesse sentido, destacou-se a importância de maior cooperação tecnológica, entre países industrializados e em desenvolvimento, na linha do incentivo a fontes de energia renováveis.
- Importância do diálogo, a longo prazo, no sentido de minimizar as causas das mudanças climáticas. Nesta esfera, houve otimismo inclusive na

expectativa de que o próximo presidente dos Estados Unidos seja mais flexível do que o atual, que ainda se recusa a ratificar o Protocolo de Quioto, sob os argumentos de que faltam comprovações científicas dos impactos de ações humanas nas mudanças climáticas, e de que a adesão às metas afetaria significativamente a economia norte-americana.

O PROTOCOLO DE QUIOTO

Foi apresentado para a aprovação dos países signatários da Convenção durante a COP 3, em Quioto, como uma proposta concreta de início do processo de estabilização das emissões de GEE (CEBDS, 2001).

Este Protocolo estabeleceu que os países do Anexo I devem reduzir suas emissões de GEE para que elas se tornem 5,2% inferiores aos níveis de emissão de 1990; determinou que essa redução deve ser realizada entre 2008 e 2012, fase definida como primeiro período de compromisso. Para possibilitar a redução de emissões e, ao mesmo tempo, assegurar uma transição economicamente viável, o Protocolo de Quioto estabeleceu os chamados de “mecanismos de flexibilização” (CEBDS, 2001).

Segundo Campos (2001), os mecanismos de flexibilização possibilitam que os países do Anexo I adquiram unidades de redução de emissão de GEE, seja por intermédio de aquisição direta, seja por investimentos em projetos de outros países. Os três mecanismos de flexibilização são Comércio de Emissões, Implementação Conjunta e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

O Comércio de Emissões é relativo à negociação de certificados de redução entre países do Anexo I. Qualquer um desses países que tenha reduzido as emissões abaixo das suas metas poderá vender essa diferença para outros países do Anexo I, creditando então essas reduções nas suas metas (CEBDS, 2001; MMA, 2002; CARVALHO et al., 2002).

Seqüestro de Carbono

A Implementação Conjunta permite que qualquer país do Anexo I adquira certificados de redução através da implementação de projetos que levem à redução de emissões em países também do Anexo I (CEBDS, 2001; MMA, 2002).

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL permite que os países do Anexo I financiem projetos de redução de emissões ou absorção de carbono nos países em desenvolvimento, como forma de cumprir seus compromissos e, ao mesmo tempo, contribuir para o desenvolvimento sustentável dos países emergentes. Em troca, ganham créditos, denominados Certificados de Emissões Reduzidas, os quais podem ser abatidos de sua meta de redução (CEBDS, 2001; MMA, 2002; FRANGETTO e GAZANI, 2002).

O Protocolo de Quioto foi aberto para assinatura em 16 de março de 1998 e entrou em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005, noventa dias após ter sido ratificado pela Rússia e, consequentemente, preenchido os requisitos para sua vigoração (ter sido ratificado por 55 Partes da Convenção e que corresponesse a 55% das emissões totais de dióxido de carbono, em relação ao ano de 1990).

O MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO – MDL

O MDL surgiu de uma proposta brasileira, apresentada em maio de 1997 ao Secretariado da Convenção. A proposta consistia na criação de um Fundo de Desenvolvimento Limpo, que seria formado por meio de contribuições dos países desenvolvidos que não cumprissem suas metas de redução. Esse fundo seria utilizado para financiar projetos em países em desenvolvimento. Em Quioto, a idéia do fundo foi transformada, estabelecendo-se o MDL (CARVALHO et al., 2002).

De acordo com PROTOCOLO DE QUIOTO (1997), o artigo 12.2 estabelece que:

“O objetivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo deve ser assistir as partes não incluídas no Anexo I para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, e assistir as partes incluídas no Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões.”

Frangetto e Gazani (2002) ressaltam que, com a implementação de projetos de MDL, busca-se a redução de emissão de GEE. Todavia, é fundamental lembrar que as atividades de projetos de MDL acabam por ser o modo de implementação de uma série de compromissos subsidiários, como a viabilização da transferência de tecnologias mais limpas e ambientalmente seguras.

Segundo esses autores, uma vez comprovada a efetiva redução de emissão de GEE, os participantes dos projetos podem auferir certificados que comprovem a dita redução, os Certificados de Emissões Reduzidas.

Conforme descrito no artigo 12.5 do Protocolo de Quioto (PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997), para que as atividades de projeto sejam consideradas elegíveis no âmbito do MDL, estas devem contribuir para o objetivo primordial da Convenção e atender a alguns requisitos fundamentais:

As reduções de emissões resultantes de cada atividade de projeto devem ser certificadas por entidades operacionais a serem designadas pela Conferência das Partes na qualidade de reunião das Partes deste Protocolo, com base em:

- (a) Participação voluntária aprovada pelas Partes envolvidas;
- (b) Benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados com a mitigação da mudança do clima; e
- (c) Reduções de emissões que sejam adicionais às que ocorreriam na ausência da atividade certificada de projeto.

Seqüestro de Carbono

De acordo com o CEBDS (2002), duas linhas de projetos são consideradas elegíveis como medidas de redução do efeito estufa no MDL:

- i) Redução de emissões por meio do aumento da eficiência energética, do uso de fontes e combustíveis renováveis, adotando melhores tecnologias e sistemas para o setor de transportes e para o processo produtivo de modo geral.
- ii) Resgate de emissões por meio de sumidouros e da estocagem dos gases de efeito estufa retirados da atmosfera, injetando CO₂ em reservatórios geológicos ou atividades relacionadas ao uso da terra, como o florestamento e o reflorestamento. Estas últimas são conhecidas, no processo de negociação do Protocolo de Quioto, como atividades de LULUCF.

O desenvolvimento de projetos de MDL demandará grande integração de conhecimentos e capacidade de adaptação às novas necessidades. É um processo que exigirá que os interesses públicos e privados estejam em constante trabalho interativo, fator básico para um bom posicionamento do Brasil no mercado dos CERs e para um fluxo positivo de desenvolvimento de projetos dessa natureza (CEBDS, 2002).

USO DA TERRA, MUDANÇA NO USO DA TERRA E FLORESTAS – LULUCF

Toda mudança no uso da terra altera os estoques de carbono, aumentando-os ou diminuindo-os. Quando ocorre a conversão de terras com florestas para outros usos, considera-se que houve emissões de GEE, causadas pela liberação dos reservatórios de carbono da biomassa florestal, principalmente pela decomposição da matéria orgânica em forma de CO₂ (CAMPOS, 2001).

Seqüestro de Carbono

As atividades de LULUCF são aquelas relacionadas à redução de emissões de GEE para florestamento e reflorestamento. Para serem aceitas no MDL, segundo Scarpinella (2002), devem seguir os seguintes princípios básicos:

- Devem ter sólida base científica.
- Devem ser desenvolvidas metodologias consistentes, ao longo do tempo, para estimativa e relato.
- Deve ser excluída da contabilidade da redução das emissões a mera presença de estoques de carbono.
- Deve a implementação dessas atividades contribuir para a biodiversidade e o uso sustentável dos recursos naturais.

Segundo os Acordos de Marrakesh de 2001, as atividades de LULUCF podem ser empregadas somente em terras que, desde 31 de dezembro de 1989, não continham florestas. Ainda, para o primeiro período de compromisso (2008-2012), o total de redução de emissões resultantes de atividades de LULUCF não poderá ultrapassar 1% do total das emissões do ano-base de cada parte integrante do Anexo I, multiplicado por cinco (UNFCCC, 2001).

De acordo com Lashof e Hare (1999), citados por Campos (2001), um dos argumentos para a inclusão das atividades de LULUCF nos compromissos do Protocolo de Quioto é que elas apresentam baixo custo na redução líquida das emissões de GEE. Segundo Rocha (2003), outro interesse claro neste tipo de projeto para mitigação do efeito estufa é o mercado de créditos de carbono, que deverá se tornar um bom negócio, principalmente após a entrada do Protocolo de Quioto em vigor.

A FIXAÇÃO DE CARBONO PELAS FLORESTAS

A remoção do CO₂ da atmosfera por meio de plantios florestais é uma das opções para compensar as emissões de gases causadores do efeito estufa (ALBRECHT e KANDJI, 2003). Essa remoção ocorre pelo processo de fotossíntese. O dióxido de carbono é fixado em compostos reduzidos de carbono, que são armazenados em forma de biomassa. Por sua vez, através do processo de respiração da planta, decomposição de seus resíduos e carbonização da biomassa, o carbono é emitido novamente e retorna para a atmosfera (REIS et al., 1994).

Segundo Ciesla (1995), a proporção do carbono absorvido pelas florestas está relacionada ao seu crescimento e sua idade. As florestas removem carbono em maiores proporções quando jovens e em fase de crescimento. À medida que vão atingindo a maturidade e o crescimento se estabiliza, a absorção é reduzida.

Diferentes tipos de floresta armazenam diferentes quantidades de carbono em sua biomassa, e locais diferentes dentro do mesmo tipo de floresta também fazem variar muito a quantidade de biomassa (HOUGHTON, 1994). Watzlawick et al. (2002) e Albrecht e Kandji (2003) afirmam que essa variação pode ser atribuída a características inerentes da planta, a fatores ambientais, a condições edafoclimáticas e a práticas de manejo adotadas.

Durante a fase inicial de desenvolvimento de uma floresta, grande parte dos carboidratos é direcionada à produção da biomassa da copa e das raízes. Entretanto, com o passar do tempo, a produção relativa de biomassa do tronco aumenta e a das folhas e dos ramos diminui gradativamente (SCHUMACHER, 1996).

Segundo Sanqueta (2002), as florestas surgem como um grande alento, pois, além de ser um recurso natural renovável, podem contribuir decisivamente para reduzir os impactos ambientais do efeito estufa e das suas implicações nas mudanças climáticas.

A SERINGUEIRA E A GERAÇÃO DE PROJETOS DE MDL

A implantação da heveicultura em áreas subutilizadas ou degradadas, com uso de tecnologia e material genético adequado, implicará o aumento na produção de biomassa local e, consequentemente, o “seqüestro” e armazenamento de carbono na superfície terrestre.

O cultivo da seringueira, se comparado ao da maioria das culturas anuais, com uso intensivo de mecanização, tanto no preparo de áreas como na colheita, constitui um tipo de aproveitamento do solo extremamente desejável do ponto de vista ecológico. Trata-se de uma cultura que protege o solo e os mananciais e fornece madeira quando no final de sua vida útil produtiva. A copa da seringueira fornece um tipo de proteção ao solo, reduzindo o impacto do sol, da chuva e dos ventos, e também lançando raízes em um nível mais profundo que as culturas anuais. Consequentemente, retira quantidade menor de nutrientes por unidade de superfície de solo. Além disso, a atividade é intensiva em mão-de-obra. Tendo em vista o déficit de borracha natural, se o Brasil atendesse sua própria demanda, geraria uma quantidade enorme de novos empregos diretos e indiretos.

Com relação aos acordos internacionais sobre mudanças climáticas, a heveicultura deve ser considerada uma atividade que traz benefícios ao sistema climático global, tendo em vista que, por se tratar de uma espécie florestal, armazena carbono tirado da atmosfera, que seu produto principal, a borracha natural, também funciona como um armazenador de carbono, e que o incentivo ao seu plantio pode levar a uma redução na exploração do petróleo quando da fabricação da borracha sintética, o que é tido no rol de negociações sobre mudanças climáticas como projetos de substituição de uma fonte não-renovável (petróleo) por uma fonte renovável (borracha natural).

A produção de borracha sintética envolve o uso de óleos derivados de petróleo ou do gás natural, recursos não-renováveis e a complexa reação química de hidrocarbonetos em unidades industriais grandes que consomem

Seqüestro de Carbono

grande quantidade de energia. De acordo com Rahaman (1995), a energia necessária para colher, processar e transportar a borracha natural até os países industrializados equivale a menos de um quarto da quantidade necessária para produzir os elastômeros sintéticos, e, como na produção de energia geralmente é emitido CO₂, este é mais um item favorável à produção de borracha natural em substituição à sintética.

A produção de borracha natural envolve três recursos naturais renováveis – a luz solar, a água e o CO₂ – para montar a molécula do polímero de borracha no interior da planta. O uso industrial de maior volume de borracha natural, reduzindo o uso da sintética, seria um método para evitar a poluição causada pelas fábricas dos sintéticos e reduzir o consumo de petróleo em níveis mundiais.

Nesse contexto, a heveicultura pode ser considerada uma forte candidata à geração dos CERs. No entanto, para que o mercado de créditos de carbono se concretize e os mecanismos de mitigação de GEE recebam seus devidos valores, é necessário que os mercados se desenvolvam. Além disso, o setor financeiro precisa estar ativamente envolvido, reduzindo custos de transação e distribuindo riscos de preços e investimento. Adicionalmente, torna-se necessário criar mecanismos de captação de recursos financeiros destinados especificamente a financiar projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Brasil.

Vale ressaltar que, pelo fato de a cultura estocar carbono na floresta por um longo prazo e apresentar vários benefícios ambientais e sociais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do País, há grande potencial de ser um projeto elegível no MDL. Empresas ou indústrias, principalmente do setor de borracha sintética, de países não-produtores de borracha natural e com compromisso de redução de gases de efeito estufa, poderiam incentivar novos plantios de *Hevea sp.* nos países em desenvolvimento, com vistas a cumprir suas obrigações.

Para que a cultura da seringueira possa gerar projetos de MDL, é necessário que contribua para o desenvolvimento sustentável do país, conforme estabelecido no Protocolo de Quioto. No Brasil, em 2002, o MMA (Ministério do Meio Ambiente) propôs critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade para avaliação de projetos que contribuam para a mitigação das mudanças climáticas e promoção do desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, a seguir, será apresentado um estudo que analisa o potencial da seringueira para produção de borracha, do eucalipto para celulose e pinus para resinagem, atendendo os critérios do MMA.

POTENCIAL DA CULTURA DA SERINGUEIRA, DO EUCALIPTO E DO PINUS PARA GERAÇÃO DE PROJETOS DE MDL

Nishi (2003) desenvolveu estudo com o objetivo de verificar o potencial do cultivo de seringueira, de eucalipto e de pinus para geração de projetos candidatos ao MDL, utilizando-se os seguintes critérios propostos pelo Ministério do Meio Ambiente:

- a) Critério 1: setores de atividade de projetos qualificáveis para o MDL.
- b) Critério 2: reduções de emissões reais e mensuráveis em relação ao cenário referência.

Já os indicadores utilizados foram os listados em seguida.

1. Contribuição para a mitigação das mudanças climáticas globais.
2. Contribuição para a sustentabilidade ambiental local.
3. Contribuição para a geração líquida de empregos.
4. Impactos na distribuição de renda.

Seqüestro de Carbono

5. Contribuição para a sustentabilidade do balanço de pagamento.
6. Contribuição para a sustentabilidade macroeconômica.
7. Contribuição para a auto-suficiência tecnológica.
8. Indicadores do potencial de efeitos multiplicadores do projeto.
 - 8.1. Internalização, na economia nacional, dos benefícios provenientes dos CERs.
 - 8.2. Possibilidades de integração regional e articulação com outros setores.
 - 8.3. Potencial de inovação tecnológica.

Para cada um dos indicadores, foi dada nota de 1 a 3, seguida do sinal positivo, quando a atividade era favorável, e negativo quando era desfavorável. Os resultados do estudo são descritos no próximo item.

Atendimento aos critérios

Verificou-se que o plantio de seringueira para produção de borracha, o de eucalipto para celulose e o de pinus para resinagem atendem aos dois critérios necessários para geração de projetos de MDL.

- Critério 1: Setores de atividade de projetos devem ser qualificáveis para o MDL

O plantio de seringueira para produção de borracha, o de eucalipto para celulose e o de pinus para resinagem são inseridos na modalidade florestamento ou reflorestamento, prevista no MDL. Considera-se florestamento se na área de implantação não houve floresta nos últimos 50 anos; é reflorestamento se não houve floresta no local até 31/12/1989.

Seqüestro de Carbono

- Critério 2: Reduções de emissões reais e mensuráveis em relação ao cenário de referência

Os referidos cultivos atendem este critério, porém há que ressaltar alguns pontos.

A modalidade LULUCF (uso da terra, mudança do uso da terra e florestas) é a que apresenta o maior grau de complexidade para a definição da sua adicionalidade como projeto de MDL. Apesar das evidentes vantagens ambientais - que se traduzem em maior preservação e uso sustentável dos recursos naturais - e das oportunidades que o Brasil oferece para projetos nessa área, cada ecossistema, cada padrão particular de degradação de áreas florestais e cada metodologia de plantio, de recuperação e/ou preservação florestal exigem estudos bem amparados em bases científicas.

Além disso, mais do que em qualquer outra modalidade de MDL, o resgate de carbono com base em atividades florestais envolve questões que dizem respeito às políticas nacionais de destinação e uso do solo. Quando se desenvolve um resgate tendo por base o plantio ou a recuperação de uma floresta, ainda que para uso industrial, é preciso levar em consideração a sua duração e a sua permanência, ou seja, o tempo em que a área florestal funcionará como elemento de resgate e sumidouro de carbono. Esse aspecto, além de dar ao CER uma duração específica, envolve diretamente a questão da propriedade da terra e de sua destinação na legislação em vigor (área de proteção, área de preservação permanente, área não-protégida, etc.).

Atendimento aos indicadores

As notas atribuídas, em cada um dos critérios, a cada uma das atividades de plantio de seringueira para produção de borracha, de eucalipto para celulose e de pinus para resinagem são apresentadas a seguir.

Seqüestro de Carbono _____

Indicador 1: Contribuição para a mitigação das mudanças climáticas globais

A linha de base considerada neste estudo foi uma pastagem natural degradada, pois quanto mais intensa a degradação da área, maior é a adicionalidade, ou seja, maior é a diferença entre o estoque atual e o estoque com a implementação do projeto. Há a possibilidade, então, da inserção de novas atividades florestais, visando um aumento no estoque de carbono dessas áreas.

A partir dos dados de biomassa, obtidos na literatura, para plantio de seringueira (RAHAMAN e SIVAKUMARAN, 1998; FERNANDES, 2003), de eucalipto (REIS et al., 1994) e de pinus (SCHUMACHER et al., 2002; GURGEL FILHO, 1972), foi obtido o carbono fixado em toneladas por hectare ao ano (t/ha.ano). As notas foram atribuídas de acordo com as classes de carbono fixado em cada uma das atividades, sendo: de 0,01 a 4,12, nota 1; de 4,13 a 8,26, nota 2; e de 8,27 a 12,38, nota 3. (Quadro 1).

Quadro 1 - Contribuição das atividades estudadas na fixação de carbono

Atividade	Carbono fixado (t/ha.ano)	Nota
Seringueira para borracha	3,09	+1
Eucalipto para celulose	12,38	+3
Pinus para resinagem	4,08	+1

Indicador 2: Contribuição para a sustentabilidade ambiental local

Para a verificação da contribuição das atividades na sustentabilidade ambiental local, foram analisados os seus efeitos ambientais. Os resultados indicaram que todas as atividades apresentam, em média, contribuição positiva para a sustentabilidade ambiental, quando comparadas com o cenário de referência (Quadro 2).

Quadro 2 – Atribuição de notas de 1 a 3, positivas ou negativas, para os efeitos ambientais das atividades analisadas

Efeitos Ambientais	Heveicultura	Celulose	Resinagem
a) Emissões de poluentes	-1	-2	-1
b) Poluição sonora	-1	-2	-1
c) Poluição visual	+1	+1	+1
d) Erosão do solo	+3	+1	+3
e) Contaminação de recursos hídricos	+3	+1	+3
f) Perda da biodiversidade	+1	+1	+1
g) Áreas inutilizadas	+2	+3	+3
Média	1,14	0,57	1,28

As menores notas atribuídas à atividade de plantio de eucalipto para celulose, nos indicadores 1 e 2, foram devidas à realização de preparo do terreno e colheita, em intervalo de tempo menor (rotação), o que ocasiona maior emissão de poluentes, assim como maior poluição sonora pelo constante trânsito de máquinas. Essa menor rotação, característica do plantio de eucalipto para produção de celulose, também foi a justificativa para as menores notas dos indicadores 4 e 5.

Seqüestro de Carbono

Com relação à poluição visual, observou-se que todas as atividades aumentam o bem-estar cênico, quando comparadas com o cenário de referência (pastagem natural degradada).

Quanto ao indicador 6, não se observou diferença entre as atividades estudadas, porém, quando comparada com o cenário de referência, houve um ganho em termos de biodiversidade.

Finalmente, quanto ao indicador 7, as atividades florestais não apresentam a característica de inutilização de áreas, ao contrário de algumas atividades industriais que necessitam de áreas para disposição de lixo, o que as torna inaproveitáveis. Já considerando a implantação das três atividades em determinado local, a heveicultura pode apresentar algumas restrições, principalmente nas baixadas, onde a umidade favorece o aparecimento do *Micrococcus ulei*, causador da doença denominada mal-das-folhas. Por essa razão, foi atribuída menor nota a esta atividade.

Com base nas médias de cada um dos efeitos ambientais, apresentadas no Quadro 2, foi calculado o intervalo de classe para hierarquização das atividades. Nesse caso, o intervalo encontrado foi de 0,42 (1,28 dividido por 3). Utilizando este intervalo, pôde-se estabelecer as classes para atribuição das notas dos efeitos ambientais, sendo: 0,01 a 0,42 nota 1; de 0,43 a 0,85 nota 2; e de 0,86 a 1,28 nota 3.

A partir dos dados obtidos, verificou-se que todas as atividades contribuem para a sustentabilidade ambiental local; a seringueira e o pinus apresentaram maior contribuição (Quadro 3).

Seqüestro de Carbono

Quadro 3 – Contribuição para a sustentabilidade ambiental local

Atividade	Nota
Heveicultura	+3
Celulose	+2
Resinagem	+3

Indicador 3: Contribuição para a geração líquida de empregos

A partir de dados da literatura sobre geração de emprego, com relação ao cultivo da seringueira (O ESTADO..., 1999; IAC, 2002), do eucalipto (SBS, 2002) e do pinus (GARRIDO et al., 1998), foram atribuídas notas às atividades, de acordo com o número de empregos gerados em cada hectare de plantio, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 – Classes do número de empregos gerados em cada hectare plantado, utilizado para atribuição das notas às atividades

Classe (nº. emprego/ha)	Nota
0,01 - 0,13	1
0,14 - 0,26	2
0,27 - 0,40	3

Considerando-se que o cenário de referência estabelecido neste estudo apresenta uma contribuição baixa para esse indicador, todas as outras atividades geram mais empregos que a pastagem degradada. Entre as atividades estudadas, o plantio de pinus e o de seringueira receberam as maiores notas (Quadro 5).

Seqüestro de Carbono _____

Quadro 5 – Contribuição para a geração líquida de empregos

Atividade	Emprego/ha	Nota
Heveicultura	0,28	+3
Celulose	0,16	+2
Resinagem	0,40	+3

Indicador 4: Impactos na distribuição de renda

A partir dos estudos sobre distribuição de renda, analisaram-se os impactos causados pelo plantio de seringueira (CORTEZ et al., 2002), de eucalipto (BRACELPA, 2003) e de pinus (FREIRE, 2000; GASQUES et al., 1977, citados por Gnaccarini, 1993).

Para melhor avaliar esses impactos, estudou-se, com detalhes, pesquisa realizada por Cortez et al. (2002), em Unidades de Produção Agrícola (UPAs) do município de Poloni/SP. Verificou-se que essa atividade produz vários efeitos diretos e indiretos na qualidade de vida das pessoas envolvidas, como relatado a seguir:

- Havia boa infra-estrutura para as famílias residentes tanto no setor rural, quanto no urbano. Quando a residência era no campo, as casas eram cedidas pelo proprietário da terra, ou seja, o parceiro não pagava luz ou água ou aluguel. Essas casas eram de alvenaria, com instalações hidráulica e elétrica. Os pequenos proprietários residentes possuíam, também, uma boa casa.
- A renda desta atividade propiciava ao parceiro a opção de se mudar para a cidade, ter sua própria casa e abrir seu negócio, principalmente um pequeno comércio. Geralmente, a família não se transferia integralmente para a cidade - uma parte dos membros

Seqüestro de Carbono

ficava na propriedade, pois era a renda da borracha que mantinha o rendimento estável.

- O poder aquisitivo dos trabalhadores envolvidos permitia-lhes obter bens de consumo. Praticamente a totalidade dos parceiros possuía geladeira (98%), televisão (98%) e rádio (92%); mais da metade possuía carro (56%) e máquina de lavar (69%). A motocicleta era muito utilizada pelas pessoas que trabalhavam no seringal e moravam na cidade.
- Como o serviço no seringal não ocupava integralmente o trabalhador durante o dia, principalmente a mulher, a participação e o envolvimento dos pais na educação e na formação dos filhos eram freqüentes.
- Em relação à satisfação dos heveicultores com a atividade, em uma escala de 1 a 10 não houve nota inferior a 5; e 58% deles declararam-se totalmente satisfeitos (nota 10).

Os plantios de seringueira para produção de borracha, de eucalipto para produção de celulose e de pinus para resinagem foram considerados contribuidores positivos para a distribuição de renda, quando comparados com o cenário de referência, que é a pastagem degradada, recebendo, assim, nota máxima (Quadro 6).

Seqüestro de Carbono _____

Quadro 6 – Notas atribuídas às atividades estudadas em relação à sua contribuição na distribuição de renda

Atividade	Nota
Heveicultura	+3
Celulose	+3
Resinagem	+3

Indicador 5: Contribuição para a sustentabilidade do balanço de pagamento do País

Balanço de pagamento das atividades

O Brasil é um país importador de borracha natural. Para um consumo de 245 mil toneladas, foram importadas 149 mil toneladas e produzidas 96 mil em 2001. Em relação à área plantada, o País possui em torno de 100.000 ha de seringais; somente em São Paulo há uma área de 47.000 ha (IAC, 2002). Considerando uma receita anual de US\$ 81,600,000.00 (US\$ 850,00/toneladas multiplicados por 96 mil toneladas) e a área plantada de 100.000 ha, chega-se ao valor de US\$ 816.00 para cada hectare de seringueira cultivado.

Já o plantio de eucalipto para a produção de celulose destaca-se por ser a atividade florestal que mais contribui para as exportações brasileiras, chegando a US\$ 2,8 bilhões em 2000 (GLOBAL 21, 2002). Dividindo-se este número pela área plantada (em torno de 3 milhões de hectares), observa-se uma contribuição positiva para a balança comercial de US\$ 933.33, referentes a cada hectare de floresta com eucalipto.

Em relação ao plantio de pinus, o Brasil passou da condição de importador para exportador de resina e seus derivados em 1989. A produção

Seqüestro de Carbono

atual se aproxima de 100.000 toneladas por ano, representando a movimentação financeira de cerca de 25 milhões de dólares, devido às exportações (BRITO, 2003). Considerando uma área plantada de 26.100 ha (45 milhões de árvores multiplicados pelo espaçamento de 2,0 x 2,9 metros) e a exportação de 25 milhões de dólares, chega-se ao valor da contribuição positiva em torno de US\$ 957.78/ha para a balança comercial.

Para atribuição de notas às atividades visando a verificação da contribuição na balança de pagamentos, avaliou-se como o aumento de um hectare de plantio da cultura contribuiria para o incremento da exportação ou a diminuição da importação. No caso da produção de eucalipto para celulose e pinus para resinagem, o incremento de um hectare na área plantada aumentaria a exportação em US\$ 933.33 e US\$ 957.78, respectivamente, e a heveicultura diminuiria a importação de borracha em US\$ 816.00.

As atividades estudadas receberam a nota 3, já que todas contribuem de forma significativa e com valores próximos.

Quadro 7 – Contribuição para a sustentabilidade do balanço de pagamento

Atividade	Contribuição para a balança comercial (US\$/ha)	Nota
Heveicultura	US\$ 816.00	+3
Celulose	US\$ 933.33	+3
Resinagem	US\$ 957.78	+3

Indicador 6: Contribuição para a sustentabilidade macroeconômica

Para avaliar este indicador foi verificada a existência ou não de investimentos públicos no plantio de seringueira para produção de borracha, de eucalipto para produção de celulose e de pinus para resinagem.

Seqüestro de Carbono

A Lei nº 9.479/97 determinou a subvenção econômica de R\$ 0,90 por kg de borracha nacional comercializada. A duração da subvenção é de oito anos e com rebates de 20% ao ano, a partir do quarto ano, liberando totalmente a importação de borracha para a indústria nacional. Nos quatro anos, a partir desta lei, o Governo já concedeu aproximadamente R\$ 280 milhões (o equivalente a 310.000 toneladas) aos produtores de borracha (SOARES, 2002).

Não há outros programas de subvenção específicos para esta ou aquela atividade florestal, mas sim aqueles que as englobam de forma geral, destacando-se o Programa Nacional de Florestas (PNF), criado em 20 de abril de 2000, pelo Decreto nº 3.420. Este programa foi uma iniciativa do Governo Federal, com o objetivo de estimular o reflorestamento no Brasil. Entre suas metas, está o incremento da área de reflorestamento, de 170.000 hectares para 630.000 hectares anuais, a partir de 2004. Essa iniciativa almeja não só diminuir os números do desmatamento ilegal, como também evitar que o Brasil se torne importador de madeira dentro de quatro anos (SCARPINELLA, 2002).

Os investimentos oriundos do MDL nas atividades estudadas contribuiriam positivamente para a sustentabilidade macroeconômica do País, pois diminuiriam os investimentos públicos. A maior pontuação atribuída à heveicultura justifica-se pelo subsídio evitado, em relação à Lei nº 9.479/97, que determinou a subvenção econômica de R\$ 0,90 por kg de borracha nacional comercializada (Quadro 8).

Quadro 8 – Contribuição para a sustentabilidade macroeconômica

Atividade	Nota
Heveicultura	+3
Celulose	+2
Resinagem	+2

Indicador 7: Contribuição para a auto-suficiência tecnológica

Este indicador foi avaliado com base na dependência ou não de tecnologia externa.

A heveicultura e a resinagem não dependem de tecnologia externa para produção de matéria-prima visando o suprimento da indústria. As máquinas utilizadas podem ser adquiridas no Brasil com tecnologia 100% nacional, não dependendo de assistência técnica internacional. São elas, conforme Pino et al. (2000): tratores, arados, grades, sulcadores, roçadeiras simples, distribuidores de calcário e adubo, pulverizadores e carretas.

Já a produção de madeira para celulose geralmente utiliza máquinas e equipamentos importados na fase de colheita. Esta, quando semimecanizada, segundo Machado (2003)¹, corresponde a 30% e, quando mecanizada, a 70% no País. A última utiliza praticamente 100% de máquinas e equipamentos importados.

Dessa forma, a produção de celulose, por depender parcialmente de tecnologia estrangeira, recebeu nota negativa, enquanto a heveicultura e a resinagem, por utilizarem tecnologias nacionais, receberam notas positivas (Quadro 9).

Quadro 9 – Contribuição para a auto-suficiência tecnológica

Atividade	Nota
Heveicultura	+3
Celulose	-1
Resinagem	+3

¹ Comunicação pessoal - Prof. Carlos Cardoso Machado - DEF/UFV.

Seqüestro de Carbono _____

Indicador 8: Indicadores do potencial de efeitos multiplicadores do projeto

Indicador 8.1: Internalização, na economia nacional, dos benefícios provenientes dos CERs

O artigo 12.2 do Protocolo de Quioto é claro ao afirmar que: a) a finalidade do MDL é a de assistir os Países não-Anexo I, para que atinjam o desenvolvimento sustentável; e b) a confirmação de que a atividade realmente contribui para este fim é dada pelo país hospedeiro, por meio da sua autoridade nacional. Este é o único ponto no Protocolo de Quioto que exige o parecer e a aprovação dos governos. O país hospedeiro tem, então, autoridade para apoiar ou recusar uma atividade que está sendo negociada entre a iniciativa privada nacional e a internacional.

Em relação a essa questão, entende-se que o plantio de seringueira para produção de borracha, o de eucalipto para produção de celulose e o de pinus para resinagem contribuem positivamente para a sustentabilidade econômica e social do País, sendo atribuída nota máxima a todos eles (Quadro 10).

Quadro 10 - Internalização, na economia nacional, dos benefícios provenientes dos CERs

Atividade	Nota
Heveicultura	+3
Celulose	+3
Resinagem	+3

Indicador 8.2: Possibilidades de integração regional e articulação com outros setores

Os plantios de seringueira para produção de borracha, de eucalipto para produção de celulose e de pinus para resinagem oferecem ao mercado uma gama de produtos, favorecendo a dinamização de outros setores e contribuindo para a sustentabilidade regional. Com isso, foi atribuída nota máxima às três atividades (Quadro 11).

Quadro 11 – Possibilidade de integração regional e articulação com outros setores

Atividade	Nota
Heveicultura	+3
Celulose	+3
Resinagem	+3

Especificamente em relação à heveicultura, o potencial de integração regional e de articulação com outros setores é evidenciado no estudo de Benchimol (2002). O autor afirma que a borracha, na Amazônia, é um grande potencial de integração da heveicultura com outras atividades. Ela pode ser beneficiada e processada industrialmente, para produção de pneus para bicicletas e motocicletas do pólo de Manaus, e para indústrias de látex, na produção de componentes e manufaturas de galochas, mangueiras, catéteres, luvas cirúrgicas, preservativos, lenços, tubos, adesivos, material esportivo, produtos infláveis, clorinados, etc.

A celulose gera uma série de produtos, como o acetato de celulose, o rayon (seda artificial), plásticos, alimentos e explosivos, além de servir de

Seqüestro de Carbono

matéria-prima para a fabricação de papel. Os usos finais deste produto dividem-se basicamente em quatro tipos: papéis para uso gráfico, para embalagem, para fins sanitários e especialidades.

A partir do beneficiamento da resina são gerados o breu e a terebintina. Estes são utilizados nas indústrias de papel, petroquímica, de tintas e adesivos, química e farmacêutica, de borracha sintética, automobilística, de equipamentos elétricos, de construção naval e construção civil, entre outras, favorecendo, com isso, o desenvolvimento regional por meio da integração com outros setores.

Indicador 8.3: Potencial de inovação tecnológica

Os plantios de seringueira para produção de borracha, de eucalipto para produção de celulose e de pinus para resinagem apresentam potencial de inovação tecnológica, desde a produção de mudas até a colheita e o processamento de seus produtos. Na área de melhoramento genético, há constante busca por clones mais produtivos e que atendam, mais apropriadamente, às características desejáveis pela indústria.

O setor de celulose e papel, especificamente, vem investindo na área tecnológica, visando o aprimoramento dos principais parâmetros de qualidade e produtividade. Além disso, o setor conta com alto nível de capacitação técnico-profissional e investe continuamente na atualização e expansão de seu parque produtivo. Atestando a excelente qualidade do produto nacional, diversas empresas já foram certificadas por institutos internacionais, por conformidade às Normas ISO 9000 e 14000. Em relação às questões ambientais, as empresas exportadoras do setor deram salto qualitativo acima das exigências legais nacionais de meio ambiente, mostrando sua competitividade através de rápida

Seqüestro de Carbono

implementação de modernas tecnologias minimizadoras da geração de carga poluente e controle externo de alto desempenho.

Desta forma, entende-se que esses plantios têm potencial de inovação tecnológica, por isso foram atribuídas notas positivas a eles. Entretanto, ao comparar as três atividades, o plantio de eucalipto para produção de celulose, em função da maior capacidade de investimento do setor, possui maior potencial de desenvolvimento de inovações tecnológicas, recebendo, por essa razão, maior nota (Quadro 12).

Quadro 12 – Potencial de inovação tecnológica

Atividade	Nota
Heveicultura	+2
Celulose	+3
Resinagem	+2

PONTUAÇÃO FINAL

Todas as atividades estudadas apresentaram pontuação final positiva alta, comprovando, assim, que têm grande potencial de contribuição para o desenvolvimento sustentável do Brasil, com base nos critérios e indicadores propostos pelo MMA (Quadro 13). Assim, entende-se que, quando o mercado estiver funcionando e as metologias de florestamento e reflorestamento forem aprovadas, os projetos relacionados aos plantios de seringueira para produção de borracha, de eucalipto para produção de celulose e de pinus para resinagem serão validados pelo governo brasileiro e o País receberá os investimentos do MDL.

Seqüestro de Carbono _____

Quadro 13 – Pontuação final

Atividade	Nota Final
Heveicultura	+27
Celulose	+23
Resinagem	+26

No que se refere à análise das atividades florestais com potencial de gerar projetos candidatos ao recebimento de CERs, através do MDL, verificou-se que todas contribuem de forma significativa para o desenvolvimento sustentável do País; a expansão destas atividades depende da superação de algumas dificuldades apresentadas; e recursos advindos do MDL podem contribuir para tal fim.

Quanto à verificação do potencial de atendimento dos critérios e indicadores, observou-se que todas as atividades apresentadas mostraram-se elegíveis, uma vez que possuem potencial para atender integralmente às proposições dos dois critérios utilizados.

No que se refere à hierarquização das atividades florestais estudadas, concluiu-se que a diferença na pontuação final foi baixa; a heveicultura foi a que apresentou a maior pontuação quanto aos indicadores do MMA, seguida do plantio de pinus para formação de resinagem e do de eucalipto para produção de celulose. Assim, a primeira tem, conforme o estudo, prioridade na atribuição de recursos e/ou incentivos oriundos do MDL.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Finalmente, deve-se ressaltar que as soluções para que se evitem ou pelo menos retardem os efeitos do aquecimento global são, do ponto de vista acadêmico, bem simples: diminuir a emissão atmosférica de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis; diminuir a emissão atmosférica de CO₂ pela queima de florestas; e promover o florestamento e reflorestamento em larga escala. Entretanto, na prática há várias limitações, principalmente econômicas, que dificultam a diminuição da quantidade de CO₂ da atmosfera. Assim, as receitas oriundas dos CERs podem vir a resolver esta limitação econômica.

Em termos nacionais, deve-se considerar que o Brasil, através da heveicultura, possui vantagens comparativas para o “seqüestro” de CO₂, representadas pelo clima, pelo solo, pela produtividade, pela tecnologia de plantio disponível, além dos benefícios sociais e ambientais inseridos.

A inclusão dos CERs como receitas extras pode estimular produtores e empresários a optarem pela cultura, fazendo com que o Brasil, atualmente importador de borracha natural, se torne auto-sustentável neste setor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, A.; KANDJI, S.T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 99, n. 1, p. 15-27, Oct. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Papel social 2001**. São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/social.asp>>. Acesso em: 20 junho 2003.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL; BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Efeito estufa e a Convenção sobre Mudança do Clima**. Rio de Janeiro : BNDES, Departamento de Relações Institucionais, 1999. 38 p.

Seqüestro de Carbono _____

BENCHIMOL, S. **Pólos alternativos de desenvolvimento.** Local, data. Disponível em: <<http://www.fieam.org.br/notas/Potencialidades.htm>> Acesso em outubro de 2002.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Terceiro relatório do IPCC.** Disponível em:

<www.mct.gov.br/index.php/content/view/17636.html> Acesso em: 24 de junho de 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade para avaliação de projetos que contribuam para a mitigação das mudanças climáticas e para a promoção do desenvolvimento sustentável.** Brasília, D.F., 2002. 17 p.

BRITO, J. O. **Goma-resina de pinus e óleos essenciais de eucalipto: destaques na área de produtos florestais não-madeireiros.** Piracicaba: IPEF, 2002. Disponível em: <<http://www.ipef.br/tecprodutos/gomaeoleos.asp>>. Acesso em 22 janeiro 2003.

CAMPOS, C. P. **A conservação das florestas no Brasil, mudança do clima e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2001. 169 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CARVALHO, G. et al. **Perguntas e respostas sobre mudanças climáticas.** Belém: IPAM, 2002. 32 p.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.** Rio de Janeiro, 2001. 35 p.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Roteiro básico para a elaboração de um projeto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL.** Rio de Janeiro, 2002. 52 p.

Seqüestro de Carbono

CIESLA, W.M. **Climate change and forest management: an overview.** Rome: FAO, 1995. 128 p. (Forestry Paper; 126).

CONVENÇÃO DO CLIMA. Convenção sobre a Mudança do Clima. Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Publicado pela Unidade de Informações sobre Mudança do Clima (PNUMA). Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil, 1995.

CORTEZ, J. V. et al. Perfil sócio-econômico da heveicultura no município de Poloni, Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 32, n. 10, p. 7-19, out. 2002. PERIÓDICO

COUTINHO, L. Cada vez mais quente: O homem calcula a temperatura média do planeta desde 1961. E nunca se registraram ondas de calor intensas como as dos últimos anos. **Veja**, São Paulo, n. 1837, p. 94-99, 21 jan. 2004.

FERNANDES, T. J. G. **Contribuição dos certificados de emissões reduzidas (CERs) na viabilidade econômica da heveicultura.** Viçosa: UFV, 2003. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa.

FRANGETTO, F.W.; GAZANI, F.R. **Viabilização jurídica do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil - O Protocolo de Kyoto e a cooperação internacional.** São Paulo: Peirópolis; Brasília, DF: Instituto Internacional de Educação no Brasil, 2002. 477 p.

FREIRE, R. A. L. V. **Trabalhadores na extração de resina na mesorregião de Itapetininga (SP).** São Paulo: USP, 2000. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade de São Paulo. FESTA DA PORCA E PARAFUSO

GARRIDO, M.A.O.; POZ, R.; FREITAS, J.A.; ROCHA, F.T.; GARRIDO, L.M. **Resinagem: manual técnico.** São Paulo: Páginas e Letras, 1998. 23p.

Seqüestro de Carbono _____

GLOBAL 21. **Informes setoriais papel e celulose.** Disponível em: <<http://www.global21.com.br/informessetoriais/setor.asp?cod=9>>. Acesso em: 10 dezembro 2002.

GNACCARINI, J. C. O trabalho infantil agrícola na era da alta tecnologia. In: MARTINS, J. S. (Coord.). **O massacre dos inocentes:** a criança sem infância no Brasil. São Paulo: Hucitec, 1993. p. 81-116.

GURGEL FILHO, O. A. **Contribuição à resinagem.** São Paulo: Instituto Florestal, 1972. 39 p.

HOUGHTON, R. A. As florestas e o ciclo de carbono global: Armazenamento e emissões atuais. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x “SEQÜESTRO” DE CO₂: UMA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994: Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 40-75.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Importância da cultura.** Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/centros/centro_cafe/seringueira/importcult.htm>. Acesso em: 09 novembro 2002.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Tercer informe de evaluación Cambio Climático 2001 - impactos, adaptación y vulnerabilidad;** resumen para responsables de políticas y resumen técnico. [S.I.]: OMM; PNUMA, 2001a. 101 p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pub/un/ipccwg2s.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2004.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Tercer informe de evaluación Cambio climático 2001: la basis científica;** resumen para responsables de políticas y resumen técnico. [S.I.]: OMM; PNUMA, 2001b. 94 p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pub/un/ipccwg1s.pdf>>. Acesso em: 13 de jan. 2004.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. A reporting service for environment and development negotiations. **Earth Negotiations Bulletin**, Milan, v. 12, n. 231, p. 3- 16, 15 Dec. 2003.

Seqüestro de Carbono

MOLION, L. C. B. Um século e meio de aquecimento global. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 18, n. 107, p. 1-30, mar., 1995.

NISHI, M.H. **O MDL e o atendimento aos critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade por diferentes atividades florestais**. Viçosa: UFV, 2003. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa.

PINO, F. A. et al. Perfil da heveicultura no estado de São Paulo, 1995-96. **Informações econômicas**, São Paulo, v. 30, n. 8, p. 7- 40, 2000.

PROTOCOLO de Kyoto. Publicado pelo Secretariado da Convenção sobre Mudança do Clima; Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil. [Brasília, D.F., 1997.]. 29p.

OBS.: o texto também está disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/4006.html>>

RAHAMAN, W. A. Natural rubber as a green commodity - Part I. **Rubber Developments**, Malaysia, v.47, n.1/2, 1994, p. 13-16, jan./fev., 1995.

RAHAMAN, W.A.; SIVAKUMARAN, S. **Studies of carbon sequestration in rubber**. In: **Paper present at the UNCTAD/IRSG, Rubber Forum**, Bali, Indonesia, 1998. 16 p.

REIS, M. G. F. et al. "Seqüestro" e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x "SEQÜESTRO" DE CO₂: UMA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994: Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 155-195.

ROCHA, M. T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. Piracicaba: ESALQ, 2003. 213 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

Seqüestro de Carbono _____

SANQUETA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: UFPR, Impr. Univ., 2002. p. 119-140.

SCARPINELLA, G. A. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Kyoto**. São Paulo: USP, 2002. 182 p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo.

Seringueiro perde emprego em plena safra. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, out. 1999. Suplemento Agrícola, p. G3.

SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL: O AMBIENTE DA FLORESTA, 1., 1996, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1996. p. 65-77.

SCHUMACHER, M. V. et al. Estoque de carbono em florestas de *Pinus taeda* L. e *Acacia mearnsii* de Wild. plantadas no estado do Rio Grande do Sul. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: UFPR, Impr. Univ., 2002. p. 141-152.

SOARES, C. A. B. **Análise dos quatro anos de subvenção da borracha**. Piracicaba, 2002. Disponível em: <<http://www.borrachanatural.agr.br/artigos/html/soares.htm>>. Acesso em: 22 julho 2002.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Estatísticas florestais 2000**. São Paulo, 2000. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>>.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **The Marrakesh Accords & The Marrakesh Declaration**. [S.I.], 2001. 245 p. Disponível em: <http://www.unfccc.int/cop7/documents/accords_draft.pdf> Acesso em: 17 jan. 2003.

WATZLAWICK, L. F. et al. Fixação de carbono em floresta ombrófila mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono.** Curitiba: UFPR, Impr. Univ., 2002. p. 153-173.

YAMIM, D.; DEPLEDGE J. **The international climate change regime: a guide to rules, institutions and procedures.** Brighton, UK: Institute of Development Studies at the University of Sussex, 2003. Não paginado.

Seqüestro de Carbono _____

Capítulo 2

Paulo Emilio Ferreira da Motta¹
Uebi Jorge Naime¹



CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS SOB SERINGAIS CULTIVADOS E VEGETAÇÃO NATURAL

¹ Pesquisadores da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. CEP 22460-000, Rio de Janeiro, RJ. e-mail: motta@cnps.embrapa.br; ujn@cnps.embrapa.br

SOLOS DA ZONA DA MATA MINEIRA

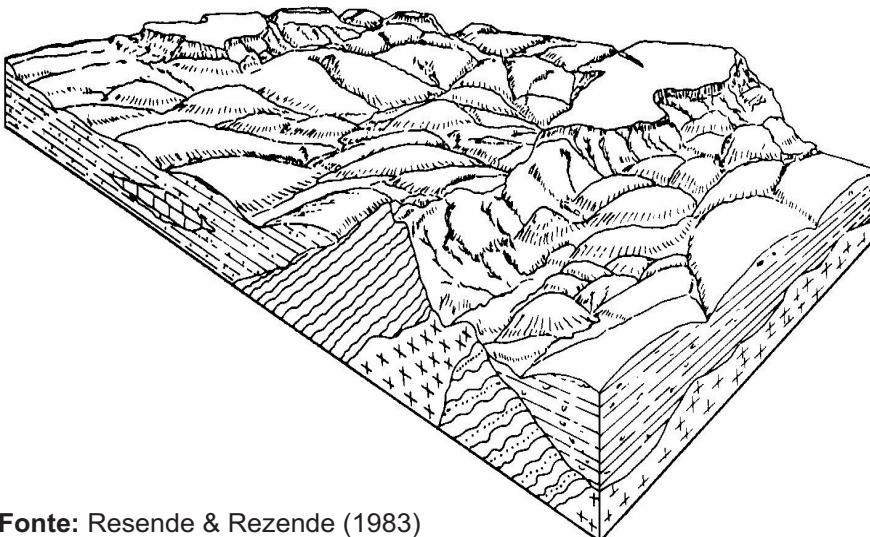
A Zona da Mata mineira insere-se no domínio morfoclimático “Morros Florestados” (AB’SABER, 1970, 1996), incluído, por sua vez, no Bioma Mata Atlântica. Primitivamente, a área era coberta pela Floresta Atlântica, que penetrava em Minas Gerais pelo sul, sudeste e leste e parte do nordeste. Da floresta original pouca coisa restou, em consequência da ocupação humana. No caso específico da Zona da Mata, a floresta foi devastada para a introdução de atividades agrícolas e, com o declínio da fertilidade natural dos solos após os primeiros anos de cultivo, devido às perdas por erosão ou pela remoção dos sucessivos cultivos, sem a adequada reposição de nutrientes, grande parte das lavouras foi substituída por pastagens, principalmente de capim-gordura.

A região, caracterizada pela heterogeneidade de microambientes, é constituída basicamente por duas unidades de paisagem: as baixadas, de relevo plano e suave ondulado, e as elevações, de relevo predominantemente forte ondulado e montanhoso. Tal feição resulta, segundo Resende e Rezende (1983), da profunda dissecação de um antigo planalto, com o consequente rejuvenescimento pedogeomórfico regional promovido pela remoção de solos antigos das áreas mais elevadas e expansão de solos jovens e mais férteis nas partes baixas (Figura 1).

Assim, as baixadas constituem uma superfície mais recente, que inclui os terraços e os leitos maiores dos cursos d’água. Os terraços apresentam um segmento essencialmente plano, cujos solos se originaram de depósitos aluviais argilosos ou argilo-arenosos (NAIME, 1988), bem como um segmento de relevo suave ondulado, onde o material de origem dos solos está relacionado a material coluvial proveniente das elevações (Figura 1). Em ambos os segmentos, ocorrem argissolos que, junto com os solos das ravinas das elevações, são os que apresentam melhor fertilidade natural na região. O terraço é cultivado com culturas anuais, onde preferencialmente são localizados os núcleos

Seqüestro de Carbono

habitacionais, enquanto o leito maior é pouco cultivado em razão das intensas limitações apresentadas pelos solos, principalmente com relação à deficiência generalizada de oxigênio e risco de inundação. Os solos mais ocorrentes nesta posição da paisagem são os, neossolos flúvicos, gleissolos e organossolos.



Fonte: Resende & Rezende (1983)

Figura 1 - Paisagem da Zona da Mata mineira, resultante da dissecação de antigo planalto regional.

As elevações apresentam vertentes de conformação variada, destacando-se as encostas convexas (bordas da ravina), as encostas côncavas (fundo da ravina) e os tops dos morros. As encostas convexas e tops de morros são cultivados preferencialmente com pastagem ou café. O fundo das ravinas apresenta argissolos com fertilidade natural um pouco melhor e declividade menor em relação à encosta convexa, enquanto as bordas das ravinas apresentam-se bastante íngremes e os solos menos férteis.

Os principais solos das elevações da Zona da Mata mineira são, segundo Baruqui et al. (1985) e Carvalho Filho (1989), Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA), álicos ou distróficos, e os Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA), predominantemente eutróficos. Segundo esses autores, tanto os LVA como os PVA podem revestir toda a encosta, desde o sopé até o topo, porém é mais comum a ocorrência simultânea dos dois solos, caso em que há a tendência do PVA ocupar as cotas mais baixas e o LVA, as cotas mais altas. O horizonte B dos latossolos apresentam estrutura de alta estabilidade, o que lhe confere elevada porosidade e, proporciona, exceto quando o horizonte C é exposto, baixa susceptibilidade à erosão, embora sejam localizados em relevo acidentado.

SOLOS DA ÁREA EXPERIMENTAL

A distribuição dos solos na Fazenda Experimental de Oratórios segue, de modo geral, a segunda tendência, descrita por Baruqui et al. (1985), ou seja, o PVA ocupa as cotas mais baixas e o LVA, as cotas mais altas. Apenas na área da pastagem, o LVA ocupa toda a elevação, desde o topo até o sopé da encosta.

Na área de plantio do clone IAN 873 de seringueira, os solos foram examinados em trincheiras abertas em três posições na paisagem (Tabela 1): no sopé da encosta, que corresponde, aqui, ao segmento coluvial da baixada; no terço médio; e no terço superior. No sopé da encosta (perfil PS-03), caracterizado por uma pedoforma ligeiramente côncava, foi constatada a ocorrência de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd) de textura média argilosa (Figura 2), que exibe, em profundidade, características intermediárias com latossolos. Esses solos apresentam um predomínio dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} no complexo de troca, valores médios a baixos de soma de bases até 100 cm de profundidade, o que os destaca dos demais, nos quais esses valores são ainda mais baixos. Nos terços médio e superior da encosta, em uma pedoforma

Seqüestro de Carbono

nitidamente convexa, constatou-se um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) (Figura 2), com caráter álico e de textura argilosa, apesar de os dados até então disponíveis para a região (BARUQUI et al., 1985) indicarem a tendência deste solo de ser sempre muito argiloso ($\geq 60\%$ de argila). Este LVA tende a ser ácrico nas posições mais próximas ao topo da elevação, como indicado pelo perfil PS-01. Pela Figura 3-I, observa-se a grande uniformidade do teor de argila ao longo do perfil, distribuição típica de Latossolos. Em função de sua mineralogia, o material dos Latossolos apresenta uma forte microagregação, maior porosidade total e, consequentemente, melhor arejamento e maior permeabilidade à água, o que concorre para sua menor susceptibilidade à erosão.

Seqüestro de Carbono _____

Tabela 1 – Perfis de solos das áreas experimentais e respectiva classificação taxonômica

ÁREA	PERFIL	CLASSIFICAÇÃO
IAN 873	PS-01	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO: Ácrico típico, textura argilosa, A moderado, álico, caulinítico, ácido, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado. (LVAw)
	PS-02	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO: Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, álico, caulinítico, ácido, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado. (LVAd)
	PS-03	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO: Distrófico latossólico, textura média/argilosa, A moderado, ácido, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo suave ondulado. (PVAd)
RRIM 600	PS-04	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO: Distrófico latossólico, textura argilosa/ muito argilosa, A moderado, ácido, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado. (PVAd)
	PS-05	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO: Distrófico latossólico, textura argilosa/ muito argilosa, A moderado, álico, ácido, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado. (PVAd)
	PS-06	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO: Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, caulinítico, ácido, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado. (LVAd)
	PS-07	CAMBISSOLO HÁPLICO: Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, álico, caulinítico, ácido, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado. (CXbd)

Seqüestro de Carbono

Continua...

CAPOEIRA	PS-08	LATOSSOLO VERMELHO: Ácrico típico, textura argilosa, A moderado, álico, caulinítico, ácido, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado. (LVw)
	PS-09	LATOSSOLO VERMELHO: Ácrico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, caulinítico, ácido, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado. (LVw)
MATA	PS-10	LATOSSOLO VERMELHO: Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, álico, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado. (LVd)
	PS-11	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO: Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado. (LVAd)
PASTAGEM	PS-12	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO: Ácrico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado. (LVAw)
	PS-13	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO: Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo ondulado. (LVAd)
	PS-14	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO: Ácrico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado. (LVAw)

Seqüestro de Carbono

Apesar dos teores de carbono não diferirem muito na parte superior do perfil (Figura 3-II), com valores médios ponderados, para os três perfis, em torno de 11,5 g.kg⁻¹ de solo nos primeiros 20 cm, decrescem de modo distinto. No caso do PVA (perfil PS-03), há uma queda constante até ocorrer estabilização a cerca de 80 cm, enquanto nos LVA a queda é menor, entre 40 e 80 cm no PS-02 e entre 60 e 100 cm no PS-01, profundidades nas quais ocorre o maior distanciamento entre os valores de carbono das duas classes de solos. Este fato foi registrado também por Ribeiro et al. (1972) e Naime (1988), que atribuíram estas diferenças ao ambiente ecológico. No caso do solo da baixada, o melhor “status” em bases favorece os organismos decompositores da matéria orgânica, ao contrário do que acontece com os Latossolos das elevações, onde as condições adversas à decomposição do material orgânico, como alto teor de argila e extremo grau de pobreza química para os microorganismos, favorecem o acúmulo de matéria orgânica, principalmente nos horizontes subsuperficiais. De acordo com Ernesto Sobrinho (1980), os microorganismos que decompõem a matéria orgânica são mais sensíveis a quaisquer limitações ecológicas do que os que a produzem.

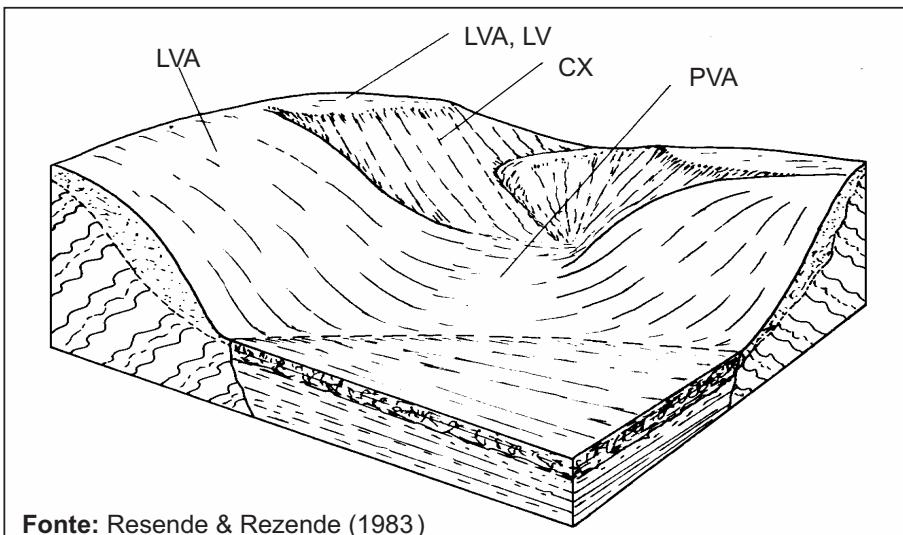


Figura 2 – Formas de relevo e distribuição de solos na paisagem da Zona da Mata mineira.

Na área de plantio do clone RRIM 600, foram descritos e amostrados quatro perfis (PS-04 a 07). Foi constatada nos terços inferior e médio da encosta a ocorrência de um PVA distrófico (PVAd) de textura argilosa/muito argilosa, embora os dados até então disponíveis para a região (BARUQUI et al., 1985), indicassem a tendência dos PVA apresentarem textura média (15 a 35 % de argila) no horizonte A e textura argilosa (35 a 60 % de argila) no horizonte B. Este solo se mostrou mais fértil no terço inferior da encosta, onde apresenta valores de saturação por bases (valor V) abaixo mas próximo de 50% até 100 cm de profundidade, predominando no complexo de troca os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} , como indicado pelos dados do perfil PS-04 (Figura 4-IV). Em virtude do gradiente textural, estes solos apresentam significativa susceptibilidade à erosão, agravada pelo fato de ocorrerem em relevo acidentado. No terço médio, já próximo da transição com o LVAd, o PVAd (perfil PS-05) apresenta ao longo

Seqüestro de Carbono

de todo o perfil uma saturação por bases mais baixa e alta saturação por alumínio.

No terço superior, conforme indicado pelo perfil PS-06, ocorre um LVAd muito argiloso com alta saturação por Al também ao longo de todo o perfil, embora com valores mais baixos que o PVAd do terço médio (perfil PS-05).

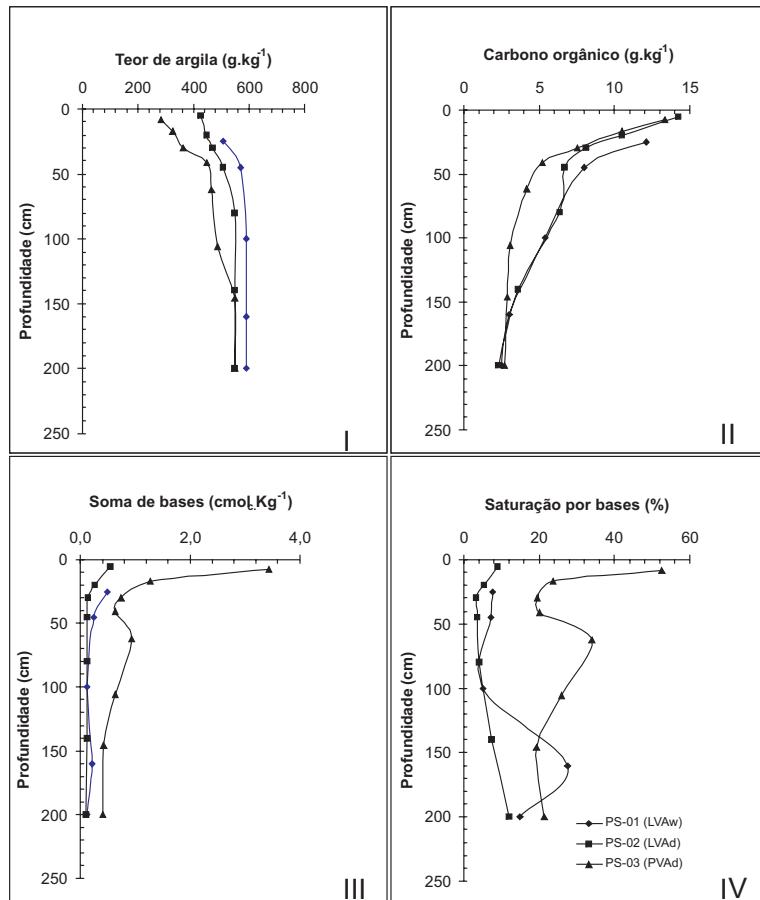


Figura 3 – Distribuição dos teores de argila e carbono orgânico, soma de bases e saturação por bases ao longo dos perfis examinados dentro da área de plantio do clone IAN 873.

Observando-se a figura 4-III, verifica-se que, no caso do LVA, a soma de bases decresce vertiginosamente com a profundidade, o mesmo acontecendo com o PVAd do terço médio. Os Latossolos têm baixa fertilidade, sendo os primeiros centímetros superficiais algo menos distróficos. Os minerais já foram destruídos e grande parte dos nutrientes já foi lixiviada. Ao contrário, o PVA do terço inferior, exibe ligeira queda dos valores de S até os 20 cm superficiais e a partir daí, pequeno aumento até a profundidade de 200 cm. A reserva de carbono em todos os solos é bastante semelhante assim como sua redução em profundidade (figura 4-II). O perfil PS-07 diz respeito a um Cambissolo Háplico Distrófico (CXbd) de textura argilosa que ocorre em uma área mais acidentada (relevo forte ondulado) dentro da área de plantio do clone RRIM 600, que, por se tratar de um solo menos desenvolvido, com estrutura mais fracamente desenvolvida, menos espesso e situado em local de relevo acidentado, apresenta uma grande susceptibilidade à erosão.

Na área da capoeira, caracterizada por uma pedoforma convexa, ocorre um Latossolo Vermelho ácrico (LVw) com bastante uniformidade de características tanto em superfície quanto em profundidade, conforme atestado pela descrição dos perfis PS-11 e PS-12. A cor avermelhada exibida pelo material deste solo reflete a presença de hematita, óxido de ferro e mais estável do ponto de vista termodinâmico com o ambiente oxidante resultante da melhor drenagem interna condicionada por sua posição de topo. São solos argilosos ou muito argilosos, bastante profundos e friáveis. A soma de bases (Figura 5-III) é muito baixa, típica de Latossolos Ácricos, extremamente intemperizados.

Seqüestro de Carbono

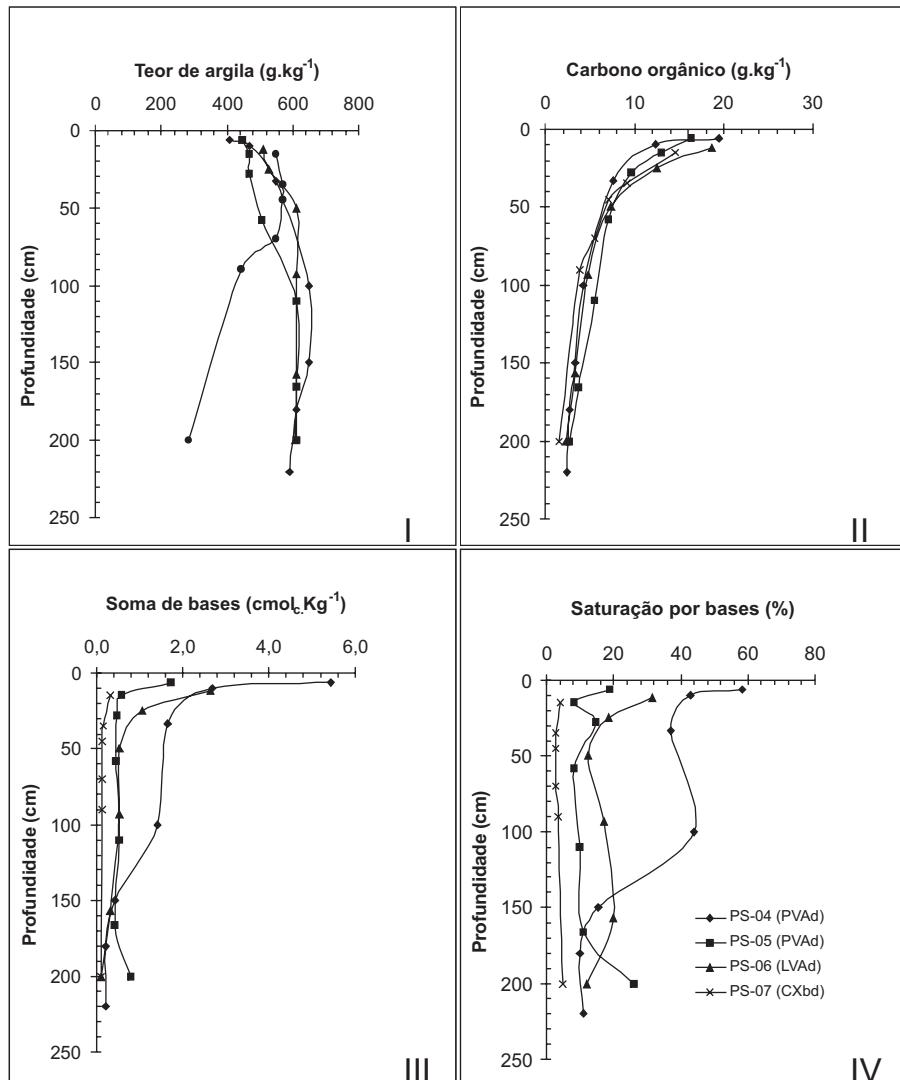


Figura 4 –Distribuição dos teores de argila e carbono orgânico, soma de bases e saturação por bases ao longo dos perfis examinados dentro da área de plantio do clone RRIM 600.

Seqüestro de Carbono

Nas áreas de capoeira e mata, os teores de carbono orgânico próximo à superfície são mais elevados (Figura 5-II) que nos solos cultivados com seringueira, porém são muito semelhantes abaixo de 100 cm.

As áreas ocupadas com mata são de relevo mais acidentado, com declives acima de 40% e, ao contrário da área de capoeira, observa-se pequena variação na cor do Latossolo, com o Latossolo Vermelho tendendo a ocorrer nas cotas mais altas e o Latossolo Vermelho-Amarelo nos terços médio e inferior da encosta. A exemplo do comentado para classes de solos distintas no primeiro nível categórico da classificação taxonômica (PVA e LVA) na área de plantio do clone IAN 873, aqui também se observa (Figura 6-II) para solos geograficamente bastante próximos e separados taxonomicamente no segundo nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (LV e LVA), uma distribuição distinta de carbono ao longo de determinada profundidade (10 a 130 cm), onde, partindo de teores superficiais muito próximos, ocorre maior redução deste elemento justamente no solo que apresenta maior “status” de nutrientes, de maneira semelhante ao constatado por Ribeiro et al. (1972) e Naime (1988). A saturação de bases é baixa e a saturação por alumínio alta ao longo de todo o perfil.

Na área de pastagem degradada foram descritos três perfis: PS-12, no terço superior, PS-13, terço médio, e PS-14, no terço inferior da encosta. O solo é também bastante homogêneo, representado por um LVA de textura muito argilosa ao longo de toda a encosta. O caráter ácrico ocorre em alguns pontos, porém sem tendência definida com relação à posição na paisagem.

Seqüestro de Carbono

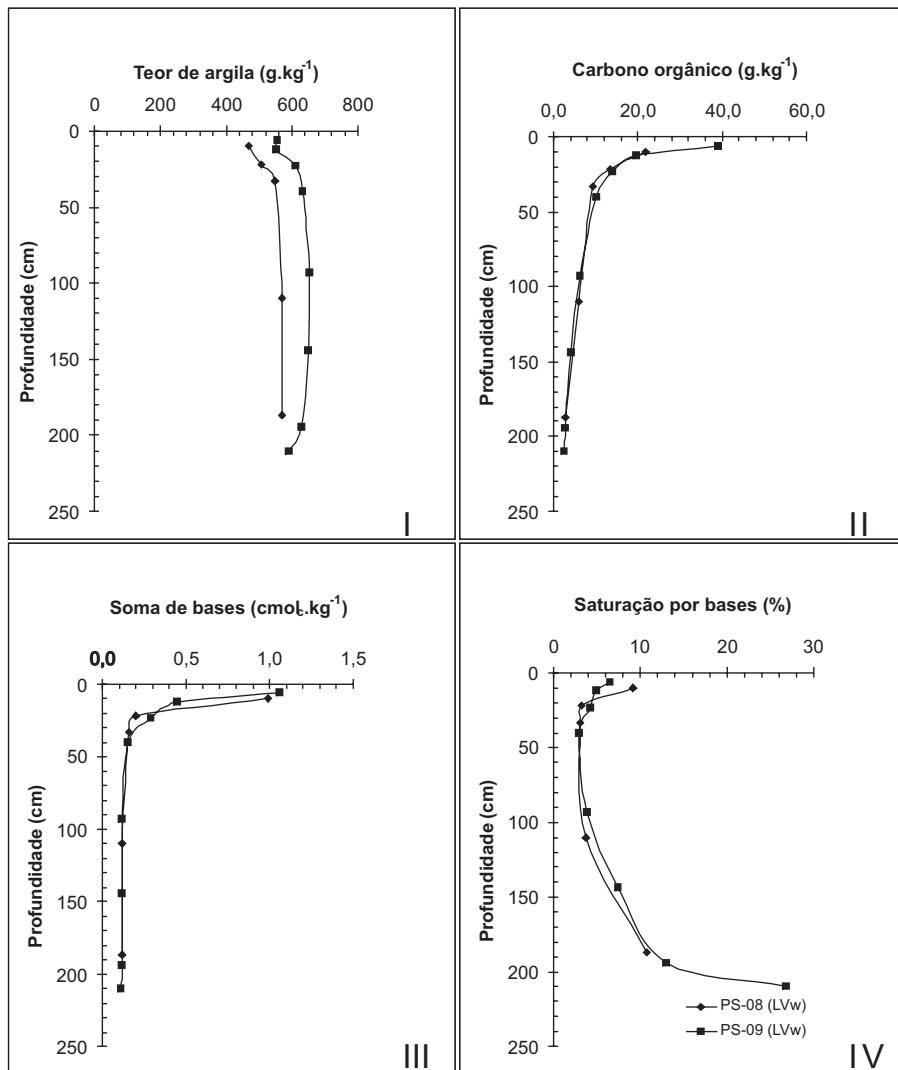


Figura 5 – Distribuição dos teores de argila e carbono orgânico, soma de bases e saturação por bases ao longo dos perfis examinados dentro da área de capoeira.

Seqüestro de Carbono

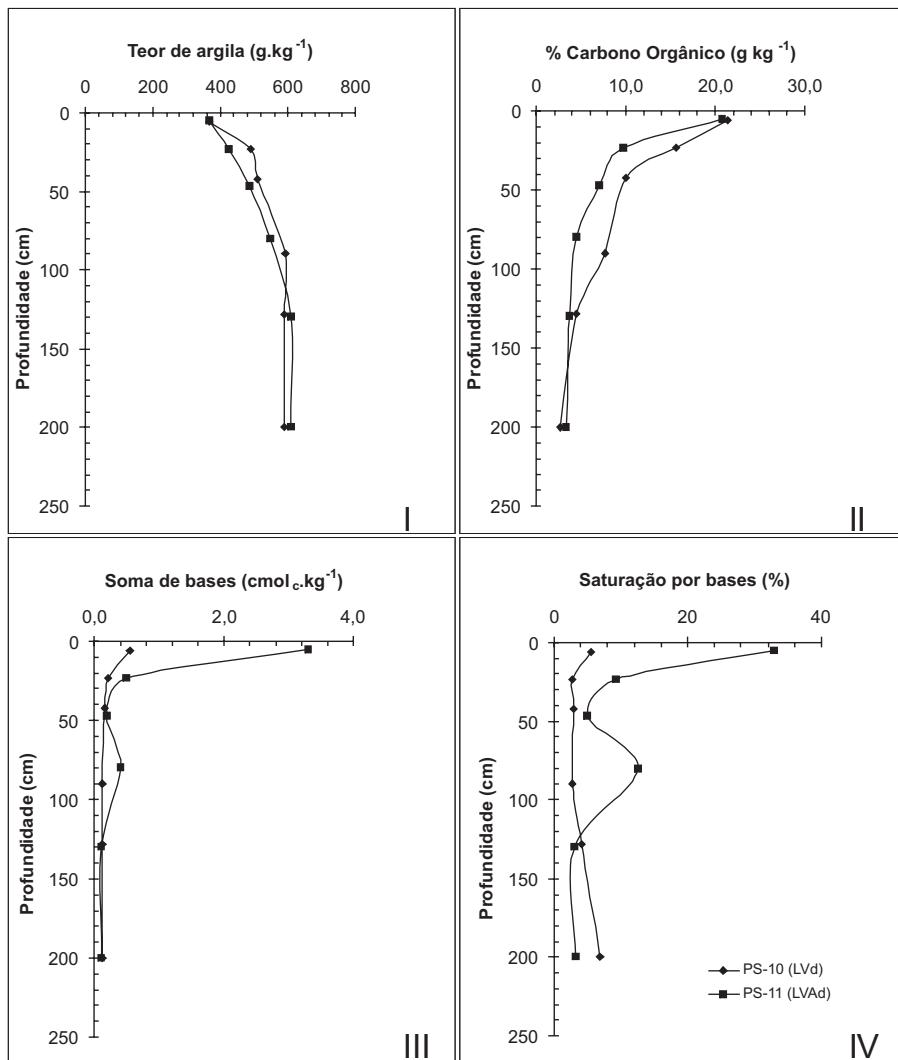


Figura 6 – Distribuição dos teores de argila e carbono orgânico, soma de bases e saturação por bases ao longo dos perfis examinados dentro da área de mata.

Seqüestro de Carbono

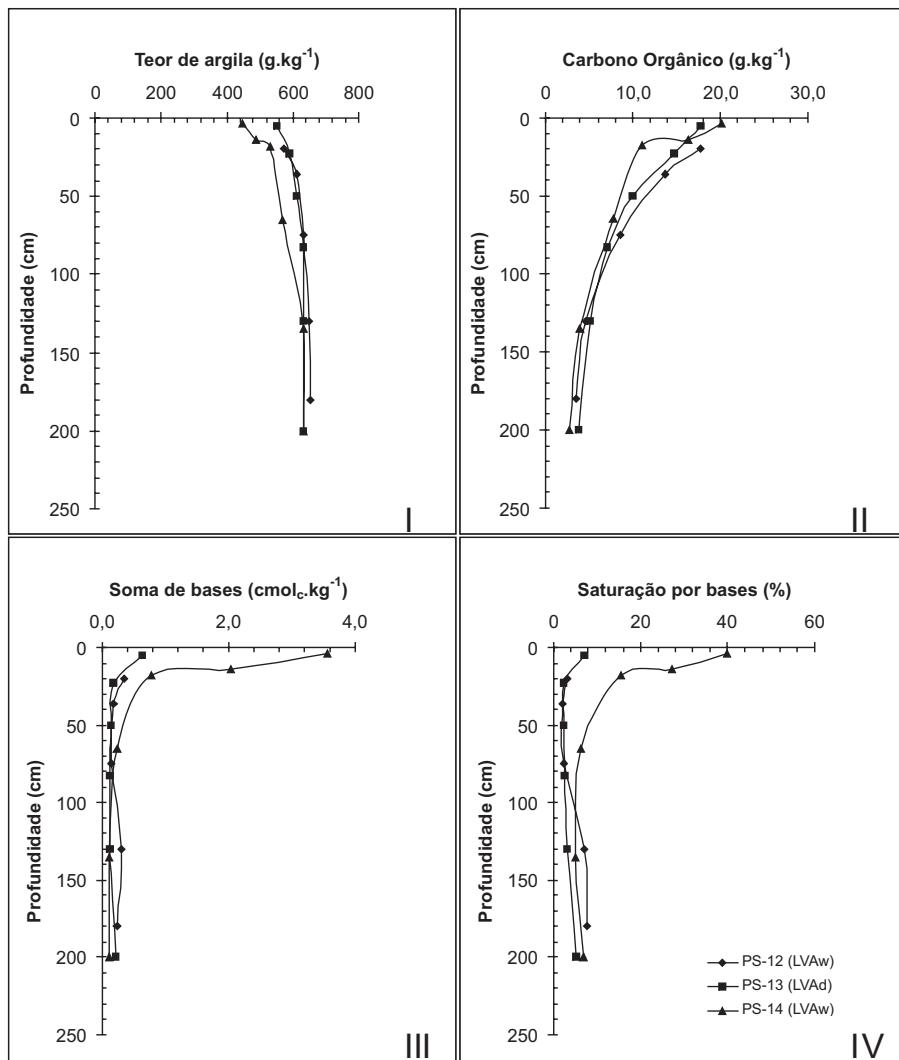


Figura 7 – Distribuição dos teores de argila e carbono orgânico, soma de bases e saturação por bases ao longo dos perfis examinados dentro da área de pastagem degradada.

Com exceção do perfil PS-14, onde nos primeiros 20 cm a saturação por base é um pouco mais alta (Figura 7-IV) e a saturação por alumínio fica abaixo de 50 %, nos demais perfis examinados as características químicas se assemelham às dos outros perfis de Latossolos examinados tanto nas áreas de seringueira como na da capoeira, ou seja, baixa saturação de bases ao longo de todo o perfil e alta saturação por alumínio até 90-110 cm, com a tendência a anular-se a partir daí. Também aqui se observa uma redução mais acentuada do teor de carbono em profundidade (Figura 7-II), neste caso entre 15 e 60 cm, no perfil onde foi registrada uma soma de bases ligeiramente mais elevada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia**. São Paulo, 26 p.1970. PERIÓDICO.
- AB'SABER, A.N. Domínios morfoclimáticos e solos do Brasil. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Eds.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: UFV, Departamento de Solos, 1996. p.1-18.
- BARUQUI, F.M.; RESENDE, M.; FIGUEIREDO, M.S. Causas da degradação e possibilidade de recuperação das pastagens em Minas (Zona da Mata e Rio Doce). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 27-37, ago. 1985.

Seqüestro de Carbono _____

CARVALHO FILHO, A. **Caracterizações mineralógica, química e física de solos de duas unidades de paisagem do Planalto de Viçosa, MG.** Viçosa: UFV, 1989. 114p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa.

ERNESTO SOBRINHO, F. **Caracterização, gênese e interpretação para uso de solos derivados de calcário da região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte.** Viçosa: UFV, 1979. 133p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa.

NAIME, U.J. **Caracterização de solos de terraços nas Zonas da Mata e Rio Doce, Minas Gerais.** Viçosa: UFV, 1988. 76p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa.

RESENDE, M.; REZENDE, S.B. Levantamento de solos: uma estratificação de ambientes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 9, n. 105, p. 3-25, SETEMBRO 1983.

RIBEIRO, A.C.; RESENDE, M.; FERNANDES, B. Latossolos com horizonte subsuperficial escurecido, na região de Viçosa. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 19, n. 104, p. 280-288, jul.-ago. 1972.

GLOSSÁRIO

ÁCRICO – caráter exibido por alguns Latossolos, que representa a ocorrência combinada de uma soma de bases extremamente baixa ($S \leq 1,5 \text{ cmol}_{\text{c}} \cdot \text{kg}^{-1}$ de argila) com um $\text{pH}_{\text{KCl}} \geq 5,0$ ou $\Delta\text{pH} (\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}) \geq 0$, e denota um estágio de intemperismo excepcionalmente avançado.

ÁLICO – caráter exibido por solos que apresentam, no complexo de troca, saturação por alumínio ($100 \cdot \text{Al}/(\text{Al} + \text{S}) \geq 50\%$).

ARGISSOLOS – solos minerais cujo processo de formação, ao promover a lixiviação de argila ao longo do perfil, com depressão na parte superior e acúmulo na parte inferior, resultou no estabelecimento de um gradiente textural.

DISTRÓFICO – adjetivação de solos que apresentam saturação de bases ($100 \cdot S/T \leq 50\%$).

LATOSSOLOS – solos minerais em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo, com o acúmulo de óxidos de ferro e alumínio e remoção de bases. Normalmente são profundos.

GLEISSOLOS – solos hidromórficos constituídos por material mineral gleizado. O processo de gleização implica a manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, devido à presença de compostos de Fe^{2+} ou ausência de compostos de ferro, solubilizado e retirado do sistema devido à prevalência de um regime redutor condicionado pelas condições anaeróbicas do meio.

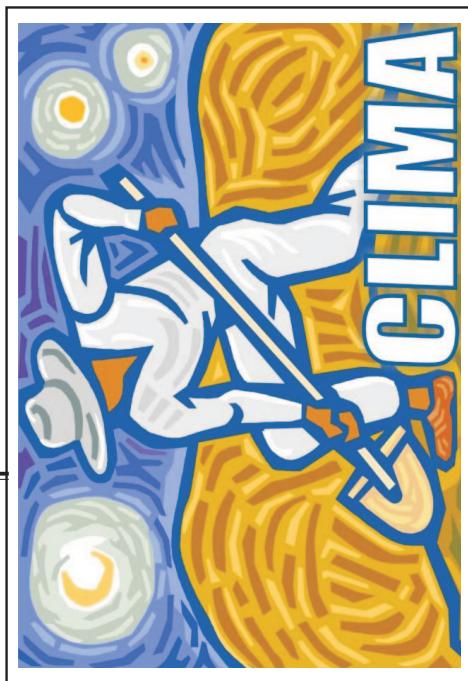
ORGANOSOLOS – solos hidromórficos, muito mal drenados, essencialmente orgânicos, desenvolvidos de acumulações de resíduos vegetais em áreas alagadiças, onde é lenta a mineralização da matéria orgânica devido à anaerobiose. Ocorrem nas partes mais úmidas das áreas de surgência, veredas e várzeas.

NEOSSOLOS FLÚVICOS – Solos pouco desenvolvidos, oriundos de deposições fluviais recentes de natureza variada. O horizonte A assenta-se sobre camadas estratificadas normalmente sem relação pedogenética entre si. Suas características morfológicas variam muito de local para local e até mesmo ao longo de um mesmo perfil, em função da natureza do material de cada deposição. Ocorrem em várzeas e correspondem aos anteriormente denominados solos aluviais.

Seqüestro de Carbono _____

Capítulo 3

Alexandre Ortega Gonçalves¹



ASPECTOS CLIMÁTICOS DA ZONA DA MATA MINEIRA

¹ Pesquisador da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. CEP 22460-000, Rio de Janeiro, RJ e-mail: aortega@cnps.embrapa.br

CLIMA

Um dos fatores que mais influenciam no desenvolvimento das plantas é o clima, que para defini-lo é necessário considerar a atuação de fatores como radiação solar, latitude, continentalidade², massa de ar e correntes oceânicas. Esses fatores condicionam a temperatura, a precipitação, a umidade do ar e a pressão atmosférica, que, por sua vez, definem as tipologias climáticas.

Vale ressaltar que clima é a sucessão habitual dos tipos de tempo em determinado local da superfície terrestre, e que tempo é o conjunto de valores que, em dado momento e lugar, caracteriza o estado atmosférico.

Para compreender o clima de determinado local, é preciso estudar os diversos tipos de tempo que costumam ocorrer durante vários anos consecutivos. O resultado obtido é uma espécie de “síntese” dos tipos de tempo que ocorrem no local, ou clima. Tanto o “clima” como o “tempo” referem-se aos mesmos fenômenos atmosféricos: temperatura e insolação, pressão atmosférica, vento, umidade do ar e precipitações (chuvas, geada e granizo).

A partir dos dados obtidos nos postos de observação meteorológicos de referência, pode-se classificar e avaliar o comportamento do clima durante determinado período, gerando assim os valores normais. Consideram-se valores normais, ou normal climatológica, a média desses valores em períodos entre trinta e cinqüenta anos.

O Estado de Minas Gerais apresenta uma diversificação climática muito grande, originada fundamentalmente do fato de grande parte do seu território ter uma topografia muito acidentada (serras do Espinhaço, da Mantiqueira, do Caparaó, da Canastra e do Cabral) e de estar localizado na trajetória normal das frentes polares (correntes perturbadas do S.), onde freqüentemente o

² Proximidade ou afastamento de um lugar em relação ao oceano. Este tem sobre a temperatura um efeito amenizador, não permitindo, nos lugares próximos, temperaturas muito elevadas no verão e muito reduzidas no inverno, como sucede no interior.

sistema de circulação do anticiclone polar das altas altitudes e o do Atlântico Sul das latitudes baixas se opõem em equilíbrio dinâmico (NIMER, 1979).

Regime pluviométrico

Dados a grande extensão do Estado e o relevo muito acentuado de grande parte do seu território, o regime pluviométrico apresenta uma grande diversificação de valores da precipitação. No entanto, há algumas características comuns praticamente a todas as regiões, como dois períodos bem definidos, um chuvoso no verão e o outro seco no inverno; quase toda a precipitação concentra-se em seis ou sete meses do ano (outubro-abril), sendo o trimestre dezembro-fevereiro responsável por mais de 50% do total anual.

Quanto à precipitação média anual, constata-se, conforme se pode ver na Figura 1, que a média da região é em torno de 1300 milímetros anuais, sendo as proximidades do município de Juiz de Fora a região que apresenta a maior precipitação anual, cerca de 1650 mm contra 1150 em Ponte Nova.

No restante do Estado, há uma variação entre 1200 e 2500 mm, correspondendo os valores mais altos às regiões de maior altitude das serras do Espinhaço e da Mantiqueira.

No inverno, com o resfriamento do continente e o fortalecimento dos anticlones polares, as frentes frias são os únicos mecanismos capazes de provocar chuvas significativas em Minas Gerais, e, muitas vezes, chegam a alcançar latitudes bem baixas. Entretanto, ao deslocar-se, a massa polar vai se tornando cada vez mais seca. Com isso, a precipitação é escassa, exceto nas costas mais altas onde a umidade é elevada, facilitando os processos pluviais (ANTUNES, 1986).

Seqüestro de Carbono

Não se pode deixar de citar o fenômeno regionalmente conhecido como “veranico”, período de 10 a 25 dias, por vezes mais, durante o período chuvoso, em que não há chuvas e que coincide com a ocorrência de temperaturas elevadas e, conseqüentemente, de evapotranspiração elevada. Ocorre normalmente em janeiro e/ou fevereiro, portanto, no período de maior desenvolvimento das culturas e chega a provocar uma redução de 30 a 40% nas produções. O problema é particularmente grave, por serem imprevisíveis o período do veranico e sua duração, tornando difícil tomar medidas destinadas a minimizar os seus efeitos (ANTUNES, 1986).

Regime térmico anual da região da Zona da Mata mineira

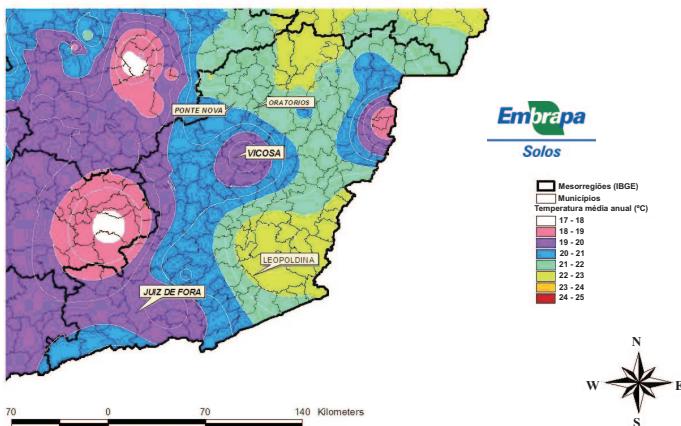


Figura 1. Regime pluviométrico anual (mm) da região da Zona da Mata mineira.

Regime térmico

A influência da latitude e principalmente da altitude, dado o relevo acentuado de grande parte do Estado, provoca uma grande variação nos valores das temperaturas (Figura 2), cuja média anual vai de 18°C nas regiões de maior altitude (Caparaó) até 22,5°C em Ponte Nova e Oratórios, e 19,2°C em Juiz de Fora.

Seqüestro de Carbono

Os dados utilizados fazem parte do zoneamento da cultura do café em Minas Gerais, apresentados por Alfonsi et al. (2005).

Umidade relativa

Temperatura e umidade relativa do ar são os elementos do clima que mais exercem influência nos diversos estágios de desenvolvimento da seringueira. Assim, locais com temperatura média anual abaixo de 20°C e umidade excessiva são os menos indicados, porque proporcionam condições para a incidência de doenças que limitam a cultura. Assim, na região da Zona da Mata mineira, a umidade relativa do ar, média no ano, varia entre 75 e 80 %. Em Juiz de Fora, o valor da média histórica anual é superior a 80%, e em Ponte Nova, em torno de 75% (ANTUNES, 1986). Normalmente, o mês mais úmido é dezembro, cujos valores são 70% ao norte e 85% no sul da região.

Deficiência hídrica Anual da região da Zona da Mata Mineira

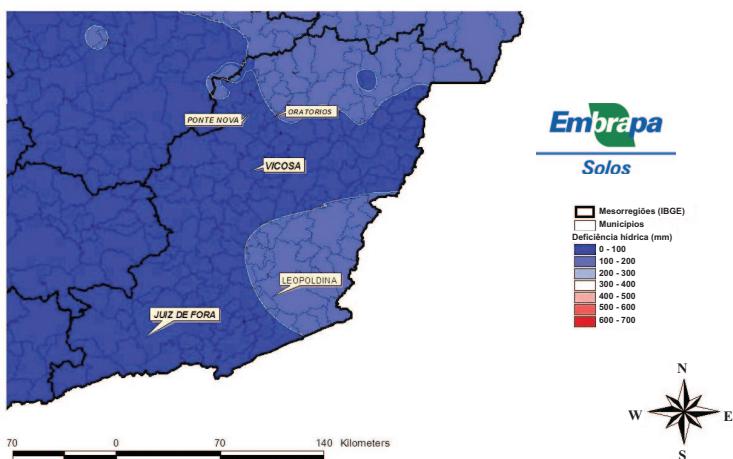


Figura 2. Regime térmico anual na Zona da Mata mineira.

Seqüestro de Carbono

Balanço Hídrico

A partir do balanço hídrico de 180 postos de observação no Estado de Minas Gerais, foi possível obter o traçado das isolinhas de deficiência e de excedente hídrico para a região da Zona da Mata mineira.

Os balanços hídricos foram calculados pelo método de Thornthwaite e Matter (1955), considerando de 100 mm a capacidade de armazenamento de água no solo (CAD), utilizando procedimentos computacionais desenvolvidos por Rolim et al. (1999).

Observando a Figura 3, verifica-se que, na metade da região em estudo, a deficiência hídrica anual varia entre 0 e 100 milímetros, não ultrapassando os 200 milímetros. O excedente hídrico tem o mesmo comportamento, sendo na maior parte da região situado entre 100 e 500 milímetros. Juiz de Fora é a região onde ocorre o maior excedente hídrico (Figura 4).

Excedente hídrico Anual da região da Zona da Mata Mineira

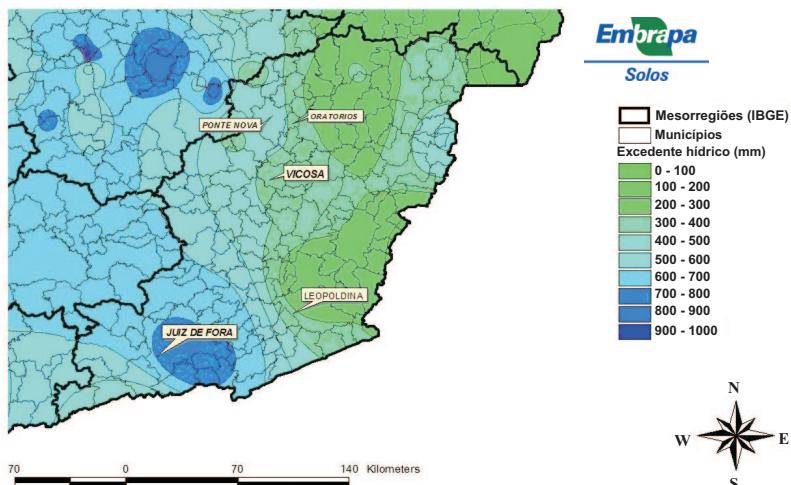


Figura 3: Deficiência hídrica anual (mm) na Zona da Mata mineira.

Excedente hídrico Anual da região da Zona da Mata Mineira

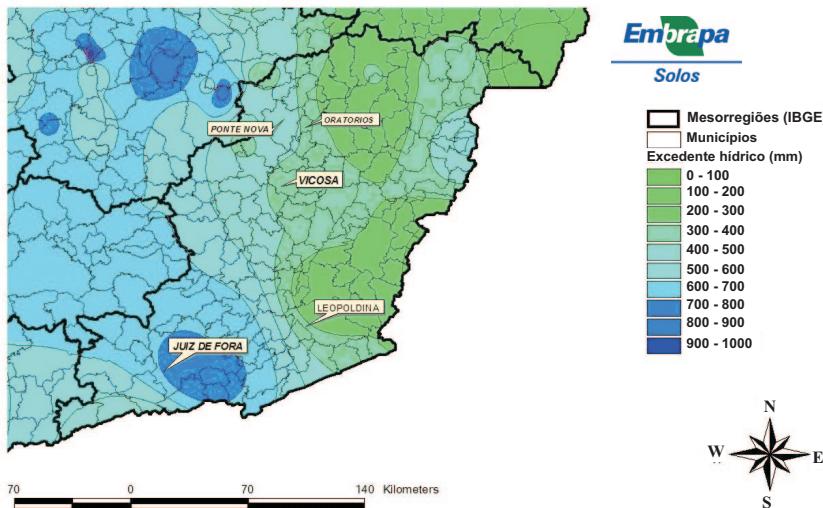


Figura 4. Excedente hídrico anual (mm) na região da Zona da Mata mineira.

Seqüestro de Carbono

Quadro 1 - Balanço hídrico específico para o município de Oratórios

Estação: Fazenda Experimental		Município: Oratórios				
Latitude:	-20,50 <th>Longitude:</th> <td>-43,00<th>Altitude (m):</th><td>500</td><th>CAD=125 mm</th></td>	Longitude:	-43,00 <th>Altitude (m):</th> <td>500</td> <th>CAD=125 mm</th>	Altitude (m):	500	CAD=125 mm
CAD=125 mm						
Mês	T (°C)	P (mm)	ET0 (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	23,5	186,9	117,13	117,1	0,0	69,8
Fev	23,7	141,5	105,48	105,5	0,0	36,0
Mar	23,2	122,8	107,05	107,1	0,0	15,7
Abr	21,5	56,7	82,61	79,5	3,1	0,0
Mai	19,4	37,8	64,11	55,7	8,5	0,0
Jun	17,8	16,7	49,01	33,1	15,9	0,0
Jul	17,3	22,7	47,08	32,0	15,1	0,0
Ago	18,7	19,2	57,87	30,0	27,9	0,0
Set	20,0	55,1	68,54	58,0	10,6	0,0
Out	21,4	105,1	87,06	87,1	0,0	0,0
Nov	22,0	175,1	94,03	94,0	0,0	19,1
Dez	22,5	228,9	105,42	105,4	0,0	123,5
Anual	20,9	1168,5	985,39	183,1	81,0	264,1
Ih	21,9	Clima:	Úmido		Mesotérmico	
Iu	26,8	Köppen:	Cwa			
Ia	8,2	Meses secos**:		6		

*Coordenadas geográficas expressas em decimal **Precipitação mensal < 60 mm

Atualizado em: 24/04/2006

Obs: Dados de temperatura estimados por modelo apresentado por SEDIYAMA & MELO JR. (1998)

- T é a *temperatura do ar* em graus Celsius; P é a *precipitação pluviométrica* expressa em milímetros;
- ET₀ é a *evapotranspiração potencial*, calculada pelo método de Thornthwaite (1955);
- ETR é a *evapotranspiração real*;
- EXC é o *excedente hídrico*;

Seqüestro de Carbono

- DEF é a *deficiência hídrica*;
- Ih é o *índice hídrico*;
- Iu é o *índice de umidade* e
- Ia é o *índice de aridez*.

Verificou-se que há um período de 6 meses secos, em que a precipitação mensal acumulada não ultrapassa 60 milímetros. O período de chuva e a conseqüente época de excedente hídrico se estendem de outubro a março (Figura 5).

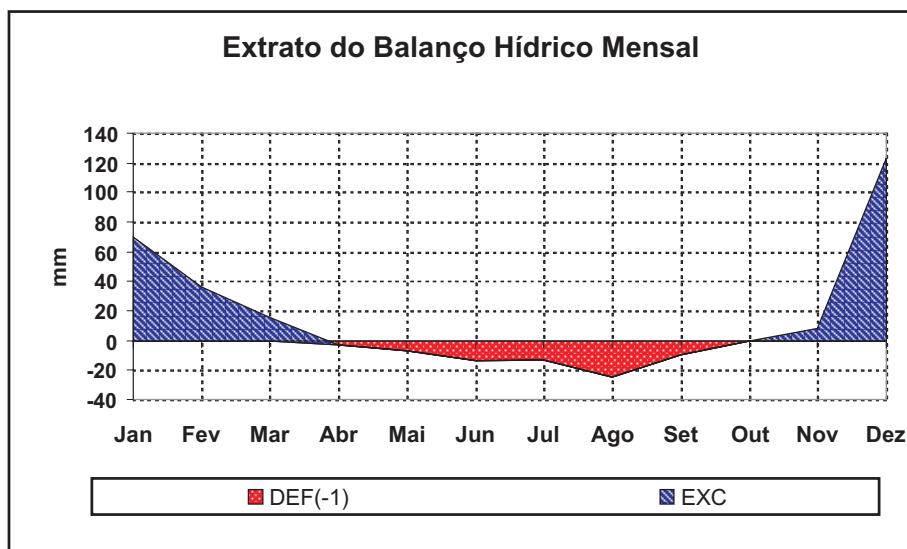


Figura 5. Extrato do balanço hídrico do município de Oratórios (MG).

Seqüestro de Carbono

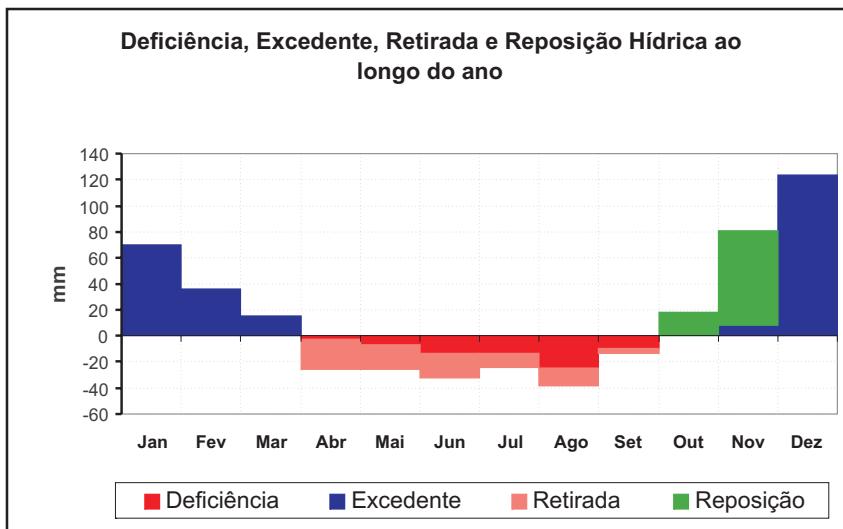


Figura 6 - Balanço hídrico, extratificando os períodos de retirada e reposição, para o município de Oratórios (MG).

CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA

Segundo a classificação climática de Köppen, os tipos de clima na Zona da Mata mineira, e que podem ser visualizados na Figura 7, são:

- **Cwb** - clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno. A temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C. Predomina nas Serras do Mar, da Cantareira, da Mantiqueira e da Bocaina no Estado de São Paulo (VENTURA, 1964). Em Minas Gerais, ocorre nas regiões de altitude mais elevadas das Serras da Canastra, do Espinhaço e da Mantiqueira, numa pequena área em volta de Araguari e noutra ao sul de Carmo do Paranaíba (ANTUNES, 1986). Ocorre, ainda, na Serra dos Órgãos, no Rio de Janeiro, na região serrana do Espírito Santo, e nas serras e chapadas do Distrito Federal e sul de Goiás (GOLFARI et al., 1978).

- **Cwa** – clima subtropical de inverno seco (com temperatura inferior a 18°C) e verão quente (com temperatura superior a 22°C). Este é o clima da maior área do Estado de São Paulo, principalmente no centro, leste e oeste (VENTURA, 1964). Predomina nas regiões serranas do centro e sul de Minas Gerais e no norte das serras do Espinhaço e Cabral (ANTUNES, 1986). Ocorre, ainda, no sudoeste do Espírito Santo, vale superior e médio do Rio Paraíba, no Estado de São Paulo e no Rio de Janeiro, e sul do Mato Grosso do Sul (GOLFARI et al., 1978).

- **Aw** - clima tropical, com inverno seco. Apresenta estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (julho é o mês mais seco). A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C. As precipitações são superiores a 750 mm anuais, atingindo 1800 mm. Este tipo de clima predomina principalmente no norte e noroeste do Estado de São Paulo (VENTURA, 1964); na parte oeste do Triângulo Mineiro, praticamente em toda a metade norte de Minas Gerais e no sudeste, na região de Muriaé – Cataguases – Leopoldina (ANTUNES, 1986); no litoral e nas serras do Ceará (FERNANDES, 1990); no norte do Maranhão, no oeste da Bahia, no centro do Mato Grosso, no Pantanal Mato-Grossense, no nordeste do Rio de Janeiro, no oeste do Espírito Santo, nas serras do Rio Grande do Norte (GOLFARI et al., 1978). Ocorre, ainda, na faixa amazônica, deste o noroeste do Tocantins até Roraima; no oeste de Mato Grosso e no sul de Rondônia.

Especificamente no município de Oratórios, segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cwa, tropical com inverno seco. A precipitação média nos últimos 30 anos, foi de cerca de 1150 mm. Há um excedente hídrico de dezembro a março; a precipitação fica abaixo da evapotranspiração potencial de abril até setembro, causando um déficit hídrico nesse período. No mês de novembro, a precipitação volta a ser maior que a evapotranspiração, definindo-se uma estação seca e outra chuvosa.

Classificação climática de Köppen da Zona da Mata Mineira

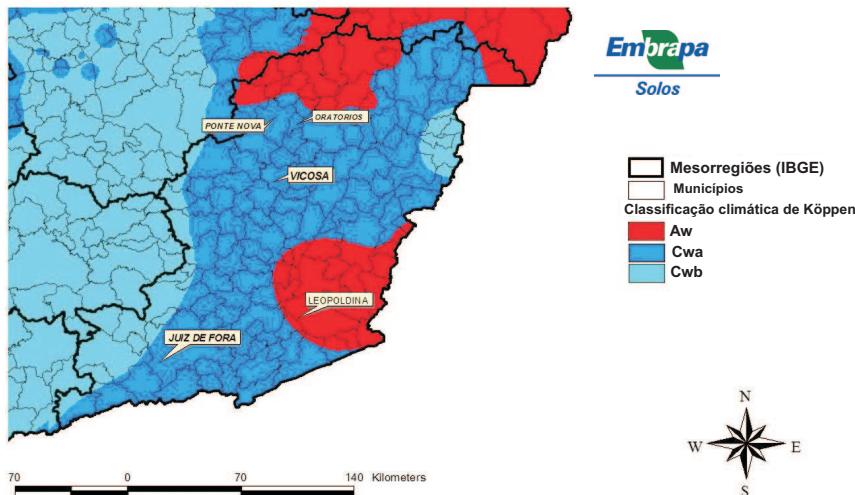


Figura 7 - Classificação climática, segundo critérios de Köppen (1948), para a região da Zona da Mata mineira.

EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS DA CULTURA DA SERINGUEIRA

Apesar de a ocorrência natural do gênero *Hevea* abranger as latitudes 3° N a 15° S no continente americano, os cultivos comerciais situam-se entre latitudes de 22° N na China e 25° S no Estado de São Paulo, o que evidencia excepcionais condições de rusticidade e de capacidade de adaptação a vários padrões climáticos e edáficos (ORTOLONI, 1986).

Temperatura: a seringueira se desenvolve melhor em temperatura média anual entre 20°C e 25°C, e os limites térmicos mais favoráveis à fotossíntese estão entre 27 e 30°C. Para o fluxo do látex, o intervalo entre 18 e 28°C é o mais indicado.

Seqüestro de Carbono

A seringueira é susceptível a temperaturas baixas, principalmente na fase jovem, e aos dois anos apresenta suscetibilidade à geada. Os primeiros danos letais ocorrem nas folhas em temperatura de 0°C a –1°C. Temperatura menor que –3°C é letal para a maioria dos clones, e na inferior a 10°C, o crescimento é nulo.

Altitude: a seringueira é pouco tolerante à geada, logo o plantio não deve ser feito em altitude muito elevada, onde o fenômeno ocorre com freqüência. Existem plantios comerciais em altitudes de até 910 metros no Triângulo Mineiro, onde a cultura apresenta bom desenvolvimento.

Fatores Hídricos: para o sucesso da atividade, o seringal deve estar implantado em região que apresente os seguintes fatores: a) evapotranspiração real anual (ER) >900 mm; b) deficiência hídrica anual (DA) < 50 mm, distribuídos em 4 a 6 meses no máximo; c) precipitação anual > 1200 mm.

Regiões com umidade relativa do mês mais seco (URs), situada entre 50 e 75%, ER superior a 900 mm e DA entre 0 e 200 mm são consideradas preferenciais para o desenvolvimento da seringueira

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALFONSI, R. R. et al. **Zoneamento climático da cultura do café (*Coffea arabica*) no Estado de Minas Gerais.** Campinas: IAC: UNICAMP; Brasília: Embrapa Cerrados; Niterói: Pesagro-Rio; Rio de Janeiro: SIMERJ: Embrapa Solos, 2003. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/cafe/MG_menu.html. Acesso em: 14 abr. de 2006.

ANTUNES, F.Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 9-13, JUNHO 1986.

Seqüestro de Carbono _____

FERNANDES, A.G. **Temas fitogeográficos:** I - Deriva continental - Conexões vegetacionais; II - Conjunto vegetacional cearense; III - Manguezais cearenses. Fortaleza: Stylus Comunicações, 1990. 116p.

GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOURA, V.P.G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil: 2ª aproximação.** Belo Horizonte: Centro de Pesquisas Florestais da Região do Cerrado, 1978. 66 p. (PRODEPEF. Série Técnica; 11).

KÖPPEN, W. Climatología. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: SUPREN: IBGE, 1979. 421 p.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C. **Balanço hídrico normal por Thornthwaite & Mather (1995) V.5.0.** Piracicaba, Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ-USP, 1999.

SEDIYAMA, G. C.; MELO JR., J.C. Modelos para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas e mínimas e anual para o Estado de Minas Gerais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 6, n. 1, p. 57-61, JANEIRO 1998.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance.** New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology).

VENTURA, A. Problemas técnicos da silvicultura paulista. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 61-80, DEZEMBRO 1964.

Capítulo 4

Ciríaca A. F. Santana do Carmo¹

Celso Vainer Manzatto¹

Antônio de Pádua Alvarenga²

Sérgio Gomes Tosto¹

Jorge Araújo de Sousa Lima¹

Andréia Kindel³

Neli A. Meneguelli¹



BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO EM SERINGAIS IMPLANTADOS NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS

¹ Pesquisadores da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. CEP 22460-000, Rio de Janeiro, RJ. e-mails: ciriaca@cnps.embrapa.br; manzatto@cnps.embrapa.br; tosto@cnps.embrapa.br; jorge@cnps.embrapa.br; meneguelli@cnps.embrapa.br

² Pesquisador da EPAMIG- CTZM. Vila Giannetti, 46/47. Campus da UFV. CEP 36570.000, Viçosa, MG. e-mail: padua@epamig.ufv.br

³ IBAMA-DF, SCEN Trecho 2 - Ed. Sede, Cx. Postal no. 09870, 70818-900, Brasília, DF.
e-mail: andreia.kindel@ibama.gov.br

INTRODUÇÃO

A seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. Ex. Adr. de Juss) Müell. Arg.) representa a principal fonte de borracha natural produzida no mundo (CORNISH, 2001 a; GONÇALVES et al., 2001) e é considerada, ao lado do aço e do petróleo, um dos alicerces que sustentam o progresso da humanidade (MUCAMBO, 2005).

A borracha natural é uma matéria-prima estratégica utilizada na manufatura de mais de 50.000 produtos, que incluem materiais médico-hospitalares, calçados, pneus, material bélico e outros, em função de características que a tornam insubstituível, como elasticidade, flexibilidade, resistência à abrasão e à corrosão, impermeabilidade e fácil adesão a tecidos e ao aço (COSTA et al., 2001; GONÇALVES et al., 2001).

A borracha natural é uma “commodity” fundamental para o agronegócio brasileiro, uma vez que, nos últimos dez anos (1992-2002), o país despendeu US\$ 1,082 bilhão com importações do produto nas suas diversas formas (GAMEIRO, 2003).

Entretanto, a produção tem sofrido flutuações nesse período, enquanto o consumo interno tem crescido linearmente, atendendo apenas a 36% da demanda. O Brasil, *habitat* natural da seringueira, que, até o final da década de 50, era o principal produtor e exportador de borracha natural, passou à condição de produtor e importador, contribuindo com apenas 0,95% da produção global. A acentuada queda na produtividade dos seringais da Amazônia ocorreu em decorrência, principalmente, da doença mal-das-folhas, provocada pelo fungo *Microcyclus ulmi*, que inviabilizou as plantações na região (COSTA et al., 2001).

O Brasil é atualmente o 9º produtor mundial de borracha natural, atrás da Tailândia, Indonésia, Malásia, Índia, China e Vietnã. Outros países, como

Seqüestro de Carbono

os africanos Libéria, Camarões e Nigéria, já começam a aparecer no cenário mundial, como importantes produtores.

No entanto, plantios pioneiros de seringueira nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste demonstram que a heveicultura, considerada restrita às áreas úmidas da Amazônia, poderia se estender para regiões com regime hídrico caracterizado por um período seco definido, concentrado em pelo menos quatro meses, englobando a fase de queda e renovação foliar e com elevado déficit hídrico (SÁ, 2000).

A partir da década de 80, o cultivo da seringueira entrou em franca expansão nessas regiões, que, por possuírem condições edafoclimáticas desfavoráveis ao ataque do mal-das-folhas, foram consideradas “áreas de escape”.

A solução para o Brasil ocupar novamente uma posição de relevância, ou mesmo minimizar os volumes de importação do produto na busca da auto-suficiência, será a realização de investimentos substanciais na expansão dos plantios racionais de seringueira, com produtividades estáveis, elevadas e de látex de boa qualidade.

A seringueira também propicia elevados ganhos ambientais, uma vez que se trata de uma planta que poderá contribuir para a redução do efeito estufa, fenômeno provocado pelo aumento da concentração de gases na atmosfera, com conseqüente aumento na temperatura global (HOUGHTON, 1994). Vários gases são responsáveis pelo efeito estufa. O dióxido de carbono (CO_2) é o que tem causado mais preocupações, pois sua concentração na atmosfera vem crescendo à taxa de 0,4% ao ano. Algumas medidas podem ser adotadas para reduzir a emissão desse gás na atmosfera, destacando-se o reflorestamento, partindo-se do princípio de que, por meio do processo fotossintético dos vegetais, o carbono é captado da atmosfera e transformado em biomassa (SALATI, 1994; MARTINEZ, 2001).

Apesar de assimilar dióxido de carbono exclusivamente através do ciclo de Calvin (planta C₃), a seringueira, segundo Moraes (1981), pode ser considerada um eficiente sistema conversor de energia solar em produção de carboidratos, uma vez que necessita de produzir metabólitos, tanto para o seu crescimento vegetativo quanto para a produção contínua de látex, ao longo de sua vida útil de cerca de 40 anos.

Estudos demonstram a eficiência da seringueira em estocar o carbono atmosférico em quantidades equivalentes ao de uma floresta natural (RAHAMAN et al., 1998). Segundo o autor, o total de carbono seqüestrado na fitomassa da madeira e na borracha produzida em um hectare de seringueiras, aos 30 anos, é de 135 toneladas.

O impacto ambiental da expansão da heveicultura no Brasil também se traduziria no aumento da oferta de borracha natural, uma vez que reduziria a produção de borracha sintética, produto resultante de um processo industrial, altamente poluente, cuja matéria-prima é o petróleo, uma das principais fontes de emissão do carbono atmosférico. A heveicultura, portanto, constitui-se numa atividade altamente sustentável e claramente enquadrada no conceito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Tratado de Quioto, podendo receber dividendos através do mercado de créditos de carbono.

Assim sendo, a heveicultura pode ser considerada como uma alternativa viável para a diminuição dos atuais problemas socioeconômicos e ambientais, tanto por fixar o homem na terra, pelo aumento de rendimento da propriedade e larga ocupação da mão-de-obra familiar e local, como também por ser uma cultura altamente ajustada às áreas degradadas, promovendo sua estabilização e recuperação.

O Estado de Minas Gerais, notadamente a região da Zona da Mata, caracteriza-se por pequenas e médias propriedades, que se constituem na única fonte de renda dos produtores, calcada em mão-de-obra familiar e com

Seqüestro de Carbono

sérias dificuldades de acesso às políticas de crédito, informações de mercado e de novas tecnologias alternativas. Ressalta-se, ainda, que o cultivo em áreas declivosas e as práticas inadequadas de uso do solo, nessas regiões, em geral, têm ocasionado acentuado e contínuo processo erosivo, com nefastos prejuízos ambientais no setor agrícola regional, com claros reflexos econômicos e sociais. Este quadro tem como consequências diretas o êxodo rural e a criação de bolsões de pobreza, tanto no setor rural quanto no urbano.

Este trabalho apresenta os resultados da quantificação da biomassa total e por compartimento, na parte aérea e na raiz, bem como, do carbono estocado por seringais dos clones IAN 873 e RRIM 600, plantados em áreas de relevo acidentado no município de Oratórios, na Zona da Mata de Minas Gerais.

O estudo foi realizado em áreas localizadas na Fazenda Experimental do Vale do Piranga, pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, em seringais dos clones IAN 873 e RRIM 600, por serem dois clones recomendados para plantio em larga escala na Região Sudeste. O seringal do clone IAN 873 foi implantado na década de 80 (20 anos), em plantio pioneiro no Estado de Minas Gerais, utilizando a metodologia preconizada para os seringais das áreas tradicionais, isto é, com muda em raiz nua e a copa induzida por meio de decapitação da gema apical, o que conferiu às árvores uma parte aérea constituída de dois ramos longilíneos e facilmente quebráveis pela ação do vento e do peso dos galhos. Já o seringal do clone RRIM 600 foi implantado na década de 90 (15 anos), com muda ensacolada e formação natural de copa, apresentando arquitetura foliar bem distribuída. O manejo e a condução do seringal foram os normais da cultura.

Visando identificar as classes de solos sob os seringais, em cada estrato da encosta, foram abertas trincheiras onde amostras foram coletadas em horizontes pedogenéticos. A classificação foi realizada adotando-se os critérios

Seqüestro de Carbono

do novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). Na área do clone IAN 873, nos terços superior e médio da encosta, dominam Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA), com altos e uniformes teores de argila ao longo do perfil. No terço superior, observa-se LVA ácrico e álico. No terço médio, identifica-se um LVA distrófico com caráter álico ao longo dos primeiros 100 cm. No terço inferior, foi constatada a ocorrência de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd) de textura média/argilosa e que exibe em profundidade características intermediárias às dos Latossolos.

Na área do clone RRIM 600, foi constatado que, no terço superior, ocorre um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, muito argiloso, com baixa saturação por bases. Nos terços inferior e médio da encosta, verificou-se a ocorrência de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura argilosa/muito argilosa, que tende a ser mais fértil no terço inferior da encosta. No terço médio, já na transição para o LVAd, o PVAd apresenta, ao longo de todo o perfil, saturação por bases mais baixa e alta saturação por alumínio. Os perfis do solo encontram-se descritos em Carmo et al. (2003 e 2004).

DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA E DO ESTOQUE DE CARBONO NA PARTE AÉREA

A determinação da biomassa da parte aérea foi realizada através do método direto e destrutivo, com abate individual de nove árvores por clone, localizadas nos estratos superior, médio e inferior da encosta, com três árvores por estrato. Para a seleção dessas, foi medido previamente o perímetro do caule, a 1,30m, de todas as árvores localizadas nos três estratos, separadamente, a fim de determinar o perímetro médio representativo da população. Após esta seleção, as árvores foram derrubadas (Figura 1A) e os seguintes compartimentos vegetais separados e pesados, individualmente, para determinação da biomassa fresca: caule, galhos grossos (constituídos em

Seqüestro de Carbono

grande parte pelos galhos principais da árvore); galhos finos (ramos) e folhas. Após esta pesagem, amostras foram retiradas e pesadas, para determinação da biomassa seca (Figuras 1B,C,D). Estas amostras foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C; após peso constante, foram novamente pesadas.



Figura 1 – Derrubada da árvore (A), separação dos compartimentos vegetais galhos principais (B), folhas (C) e galhos finos (D) de seringueira, Oratórios, MG.

Seqüestro de Carbono

Foram também retirados discos a 1,30m de altura, pesados e colocados na estufa, para determinação da biomassa seca do caule.(Figura 2).



Figura 2 – Detalhe da pesagem de uma amostra do caule da seringueira (disco).

Para determinar o estoque de carbono orgânico (CO) na biomassa da parte aérea e das raízes, foi adotado o fator de conversão 0,45, como proposto por Botkin et al. (1993), citado por Schumacher et al.(2002).

Partindo-se da suposição de não-normalidade, os dados de circunferência do caule e os de biomassa seca e fresca, dos diversos compartimentos vegetais dos dois clones, nos três estratos estudados, foram submetidos ao teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, análogo à análise de variância, usando o procedimento NPAR1WAY do Statistical Analysis System

(SAS, 1999). O nível de significância estabelecido para a comparação desses dados foi de 10% de probabilidade. A interpretação do teste é feita pela comparação das probabilidades encontradas e estabelecidas. Se a possibilidade encontrada for menor que 10%, rejeita-se a hipótese de nulidade (H_0) de que os estratos não diferem entre si, ou seja, existe significância entre eles; em caso contrário, aceita-se H_0 . O teste baseia-se na soma de escores para as variáveis estudadas.

RESULTADOS DO CLONE IAN 873

Os resultados demonstraram que as variáveis circunferência (perímetro do caule) e biomassa seca da parte aérea do clone IAN 873 apresentaram diferenças significativas nos três estratos estudados (Tabela 1). Observa-se que, em ambas as variáveis, os escores correspondentes ao estrato médio da encosta foram, estatisticamente, superiores aos escores do estrato superior, e estes, superiores aos do terço inferior. Considerando que as árvores dos estratos superior e médio estão sob Latossolos, tais resultados corroboram aqueles encontrados por Carmo et al. (2000), Cunha et al. (2000) e Carmo et al. (2002), que constataram a importância desse tipo de solo para o bom desenvolvimento da seringueira.

Seqüestro de Carbono

Tabela 1 - Somas de escores para as variáveis circunferências de caule e biomassa do clone IAN 873, segundo o teste Kruscal-Wallis

Circunferência do Caule				
Estrato	cm	Soma de escores	Esperado sob H0	Desvio-Padrão sob H0
Superior	74	15,0	15,0	3,84
Médio	77	24,0	15,0	3,84
Inferior	65	6,0	15,0	3,84

Biomassa seca				
Estrato	kg árvore ⁻¹	Soma de escores	Esperado sob H0	Desvio-Padrão sob H0
Superior	256,3	18,0	15,0	3,87
Médio	262,9	21,0	15,0	3,87
Inferior	183,1	6,0	15,0	3,87

Teste Kruskall-Wallis entre os estratos.

χ^2 (Circunferência de caule) = 7,32; DF = 2; Pr > χ^2 = 0,02* < 0,10

χ^2 (biomassa) = 5,60; DF = 2; Pr > χ^2 = 0,06* < 0,10

Na Tabela 2, são apresentados os resultados relativos aos estoques totais medios de biomassas fresca e seca (527,1 e 234,5 kg árvore⁻¹, respectivamente) da parte aérea e a sua distribuição nos diferentes compartimentos vegetais do clone IAN 873, nos três estratos estudados. As maiores quantidades de biomassa secas foram encontradas nos galhos grossos, representando 57,5% da biomassa total da parte aérea, seguidos do caule, com 23,4%, dos galhos finos, com 12,1% e das folhas com 7,0%. Observa-se, também, que o peso total da árvore seca representou 44,5% do seu peso fresco enquanto que os pesos do caule seco e da copa seca corresponderam a 56,4 e 41,8% do peso de cada um enquanto fresco, respectivamente. Constatou-se também que os pesos do caule fresco e do seco representaram 18,5 e 23,4%, respectivamente, em relação ao peso total da árvore. Considerando-se que a biomassa seca da parte aérea foi

Seqüestro de Carbono

de 234,5 kg. árvore⁻¹ e que um hectare de seringueira tem, em média, 500 árvores, a biomassa seca total da parte aérea foi de 117,2 t.

Rahaman e Sivakumaram (1998), trabalhando com seringal policlonal de 30 anos no Sudeste Asiático, encontraram biomassa seca aérea de cerca de 381,9 kg árvore⁻¹ e o peso do caule correspondente a 11% do peso total da árvore seca. Haag e Viégas (2000) observaram que o crescimento da seringueira nos países asiáticos é bem mais intenso do que no Brasil. Segundo os autores, provavelmente deve-se isso à maior fertilidade e adequação física dos solos, aliadas ao manejo da cultura e à ausência de doenças fúngicas. Os autores verificaram também o maior estoque de biomassa seca nos galhos principais, como também observado neste trabalho.

Tabela 2 - Dados médios de biomassa fresca e seca estocada em diferentes compartimentos vegetais do clone de seringueira IAN 873

Estrato	Biomassa Fresca (kg árvore ⁻¹)					Biomassa Seca (kg árvore ⁻¹)				
	Caule	Galho grosso	Galho fino	Folha	Total	Caule	Galho grosso	Galho fino	Folha	Total
Superior	108,7	379,2	68,5	31,5	587,9	62,2	151,8	27,8	14,5	256,4
Médio	104,8	382,6	66,8	33,4	587,7	59,6	154,2	30,5	18,6	263,0
Inferior	78,4	244,4	54,9	28,0	405,8	42,8	98,3	26,7	16,3	184,1
Total	291,9	1.006,2	190,2	92,9	1.581,2	416	404,3	85,0	49,4	703,3
Média	73,3	335,4	63,4	31,0	527,1	54,9	134,8	28,3	16,5	234,5
%	18,5	63,6	12,0	5,9	100,0	23,4	57,6	12,0	7,0	100,0

Seguindo a mesma tendência verificada para a biomassa, maior quantidade de carbono orgânico estocado foi encontrada nos galhos grossos principais da seringueira, seguidos dos caules, galhos finos e folhas (Tabela 3). O carbono orgânico estocado na biomassa aérea, em média, totalizou 105,4 kg árvore.⁻¹ Assim o teor de carbono orgânico estocado na biomassa aérea totaliza 52.700 kg ha.⁻¹, ou seja, 52,7 Mg ha.⁻¹

Seqüestro de Carbono

Tabela 3 - Dados médios do carbono orgânico (kg árvore^{-1}) estocado na biomassa dos diferentes compartimentos vegetais do clone de seringueira IAN 873

Estrato	Caule	Galho grosso	Galho fino	Folha	Total
Superior	28,0	68,3	12,5	6,5	115,3
Médio	26,8	69,4	13,7	8,4	118,3
Inferior	19,3	44,2	12,0	7,3	82,8
Total	74,1	181,9	38,2	22,2	316,4
Média	24,7	60,6	12,7	7,4	105,4
%	23,4	57,5	12,1	7,0	100

RESULTADOS DO CLONE RRIM 600

No que se refere ao seringal do clone RRIM 600, observa-se que a variável circunferência do caule apresentou diferença significativa nos três estratos estudados (Tabela 4), com o escore médio, referente ao estrato superior, maior que os dos estratos médio e inferior, confirmando o bom desenvolvimento da seringueira nos Latossolos. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Carmo et al. (2000), Cunha et al. (2000) e Carmo et al. (2002), em trabalhos realizados na mesma região. Não foram detectadas diferenças significativas da biomassa seca entre árvores localizadas nos três estratos considerados.

Seqüestro de Carbono

Tabela 4 - Somas de escores, classificadas por estrato, para as variáveis circunferência de caule (cm) e biomassa aérea seca (kg árvore^{-1}) do clone RRIM 600

Circunferência do Caule				
Estrato	cm	Soma de escores	Esperado sob H0	Desvio-padrão sob H0
Superior	72	22,0	15,0	3,84
Médio	71	17,0	15,0	3,84
Inferior	65	6,0	15,0	3,84

Biomassa Seca				
Estrato	kg árvore^{-1}	Soma de escores	Esperado sob H0	Desvio-padrão sob H0
Superior	278	18,0	15,0	3,87
Médio	239	10,0	15,0	3,87
Inferior	278	18,0	15,0	3,87

χ^2 (Circunferência de Caule) = 6,06; DF = 2; Pr > χ^2 = 0,05

χ^2 (Biomassa) = 2,4; DF = 2; Pr > χ^2 = 0,30

Na Tabela 5, encontram-se os dados médios referentes à biomassa fresca e seca, estocadas nos diferentes compartimentos vegetais do clone RRIM 600. Verifica-se que a biomassa seca total média, por árvore, foi de 265,0 kg ou de 132,5 t ha⁻¹. Os pesos tanto do caule seco quanto da copa seca da seringueira corresponderam a cerca de 59 e 48%, respectivamente, do peso dos dois compartimentos frescos.

Da mesma forma, espécies nativas da floresta tropical úmida de terra firme na Amazônia, habitat natural da seringueira, apresentaram concentrações semelhantes de água nos tecidos, conforme observado por Higuchi et al. (1998). Esses autores encontraram para o peso do tronco seco e da copa seca percentuais da ordem de 61 e 58%, em relação ao peso destes frescos, respectivamente. Os resultados corroboram o que já se conhece sobre a

fisiologia da seringueira quanto à sua necessidade de um bom suprimento de água no solo.

Observa-se, também, que o peso do caule seco representou 21% do peso total da planta seca, diferentemente das espécies nativas da floresta tropical úmida de terra firme, na Amazônia, cujo caule representa 65,6% do peso total da árvore (HIGUCHI et al., 1998), e das florestas plantadas de *Pinus taeda* e *Acacia mearnsii*, no Paraná, cujos caules representam cerca de 70% do seu peso total (SCHUMACHER et al., 2002). Segundo Schumacher (1996), durante a fase inicial do desenvolvimento de uma floresta, grande parte dos carboidratos é direcionada para a produção de biomassa da copa e das raízes. Com o passar do tempo, quando as copas começam a competir entre si, ocorre aumento da produção relativa do tronco e redução, gradativa, das folhas e dos galhos. Andrae (1982), citado por Schumacher et al. (2002), enfatiza que o maior percentual de biomassa de um povoamento florestal encontra-se no tronco, e este tende a aumentar à medida que o povoamento envelhece.

Conforme dados obtidos por Reis et al., (1985) e Morais (1988), trabalhando com *Eucalyptus*, e Castro (1984) e Poggiani (1985), com *Pinus*, verifica-se que a variabilidade na biomassa de cada compartimento, bem como a total, são muito grandes, tanto em função da espécie quanto da sua localização na paisagem. No caso das duas espécies estudadas, verificou-se que a copa da árvore representa pequena proporção da biomassa da parte aérea; as maiores quantidades são encontradas no tronco.

Nos plantios de seringueira, na Zona da Mata de Minas Gerais, acredita-se que o amplo espaçamento entre árvores (8,0 x 2,50m), aliado à declividade das áreas, não se constituem em fatores limitantes para o desenvolvimento das copas, como nas florestas.

Seqüestro de Carbono

Tabela 5 - Dados médios da biomassa fresca e seca (kg árvore^{-1}) estocadas nos diferentes compartimentos vegetais do clone de seringueira RRIM 600

Estrato	Biomassa Fresca (kg. árvore^{-1})					Biomassa Seca (kg. árvore^{-1})				
	Caule	Galho Grosso	Galho Fino	Folha	Total	Caule	Galho Grosso	Galho Fino	Folha	Total
Superior	95,6	317,0	154,2	38,4	605,3	57,3	119,2	79,5	22,1	278,2
Médio	95,6	240,9	95,8	35,4	467,7	55,2	99,3	57,6	26,7	238,8
Inferior	95,7	269,9	167,8	52,1	585,6	55,6	116,2	76,9	29,0	278,0
Total	286,9	827,8	417,8	125,9	1.658,6	168,1	334,7	214,0	77,8	795,0
Média %	95,6	276,0	139,3	42,0	552,9	56,0	111,6	71,3	25,9	265,0
	17,2	49,9	25,3	7,6	100,0	21,1	42,1	26,9	9,9	100,0

As maiores quantidades de carbono orgânico, estocadas na biomassa aérea da seringueira do clone RRIM 600, foram encontradas nos galhos grossos, com $50,2 \text{ kg arvore}^{-1}$, representando 42% do carbono total da parte aérea, seguidos dos galhos finos, do caule e das folhas (Tabela 6). Higuchi et al. (1998) e Schumacher et al. (2002) encontraram nos troncos maiores teores de carbono orgânico, tanto nas espécies nativas da floresta tropical úmida de terra firme, na Amazônia, quanto nas florestas plantadas de *Pinus taeda* e *Acacia mearnsii* no Paraná.

O carbono orgânico estocado na biomassa aérea da seringueira do clone RRIM 600, em média, totalizou $119,4 \text{ kg árvore}^{-1}$. Considerando-se que um hectare de seringueira no espaçamento de $8,0\text{m} \times 2,5\text{m}$ tem 500 árvores, a quantidade de carbono orgânico estocada na biomassa aérea totaliza $59.650 \text{ kg ha}^{-1}$, ou seja, $59,6 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Seqüestro de Carbono

Tabela 6 - Dados médios do carbono orgânico (kg árvore^{-1}) estocado em diferentes compartimentos vegetais do clone de seringueira RRIM 600

Estrato	Caule	Galho Grosso	Galho Fino	Folha	Total
Superior	26	53,6	35,8	10,0	125,4
Médio	25	44,7	26,0	12,0	107,7
Inferior	25	52,3	34,6	13,0	125,1
Total	76	150,6	96,4	35,0	358,0
Média	25,3	50,2	32,1	11,7	119,4
%	21	42	27	10	100

DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA E DO ESTOQUE DE CARBONO NA RAIZ

A maioria dos trabalhos que têm o objetivo de quantificar a biomassa de povoamentos florestais normalmente só obtém os dados da parte aérea, uma vez que, de modo geral, é onde se concentra a maior parte da biomassa e também pelas dificuldades na amostragem de raízes, que podem penetrar consideráveis profundidades nos solos e se estenderem lateralmente por grandes distâncias (REIS et al., 1994). O desenvolvimento do sistema radicular não é controlado apenas por fatores como temperatura, umidade e fertilidade do solo (CORREA, 1982 e GONÇALVES, 1992), mas também pelas condições e pelo estado fisiológico da parte aérea das plantas. Segundo Leles (1995), um limitado sistema radicular compromete o crescimento da parte aérea, em virtude da redução no abastecimento de água e minerais para a copa. A redução na superfície fotossintética também limita o crescimento das raízes, em consequência de redução no abastecimento de hidrato de carbono e de reguladores de crescimento (MILLER, 1986).

No caso de seringais, os estudos relativos ao sistema radicular são de primordial importância, principalmente em áreas com período seco definido, uma vez que a seringueira necessita de um sistema radicular profundo e bem distribuído, a fim de facilitar a absorção de água em maiores profundidades no solo, de modo a manter o “status hídrico” das plantas, principalmente considerando que o látex é composto de 60% de água.

A quantificação da biomassa das raízes foi realizada pelo método da escavação de trincheira aberta em uma superfície equivalente à metade da área média ocupada pela árvore ($8,0 \times 2,5 \text{ m} = 20 \text{ m}^2$) No caso, a trincheira foi aberta no espaço de 1,25 m entre plantas e 4,0 m entre linhas (Figura 3). Para conhecer a arquitetura radicular, inicialmente foram retiradas, com cuidado, todas as raízes dos primeiros 20 cm. Verificou-se que grande parte do sistema radicular está concentrado nos primeiros 20 a 30 cm do solo, onde são encontradas raízes grossas de sustentação (perímetro entre 27 e 11cm), que se desenvolvem paralelas a pivotante, até mais ou menos a profundidade de 2,0 m. As raízes laterais foram separadas da raiz pivotante e pesadas para a determinação da biomassa fresca. Após a pesagem individual, foram retiradas amostras de peso conhecido para a determinação da biomassa seca.

Seqüestro de Carbono



Figura 3 – Detalhe da arquitetura do sistema radicular do clone RRIM 600 de seringueira, Oratórios, MG.

No caso da raiz pivotante, adotou-se procedimento similar ao utilizado para quantificar a biomassa seca do caule, isto é, após a determinação da biomassa fresca, foram retirados discos de pesos conhecidos para determinação do peso seco. Todas as amostras foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar, a 65º C, e, após peso constante, novamente foram pesadas para determinação da biomassa seca. Os cálculos para determinação do carbono orgânico foram semelhantes aos utilizados para a quantificação da parte aérea.

Os dois clones de seringueira apresentaram raízes pivotantes bem definidas e profundas (Figura 4), com raízes laterais distribuídas, uniformemente, nos primeiros 30 cm. Esta capacidade de desenvolver sistema

Seqüestro de Carbono

radicular profundo permite a esta espécie absorver água em camadas mais profundas do solo, capacitando-o a estabelecer-se em locais de acentuada deficiência hídrica (AWE et al., 1976 e REIS e HALL, 1987).



Figura 4 – Detalhe da quantificação das raízes pivotantes, Oratórios, MG.

O clone IAN 873 apresentou maior biomassa radicular média total do que RRIM 600, não se verificando variações na biomassa total entre os estratos da encosta (Tabela 7). A maior biomassa radicular total do IAN 873 foi encontrada na maior pivotante em relação à do RRIM 600. Já a quantidade de raízes laterais foi maior no clone RRIM 600 (Tabela 7).

Seqüestro de Carbono

Tabela 7 - Médias de biomassa seca e carbono das raízes laterais e pivotantes dos clones IAN 873 e RRIM 600 por estrato na encosta (kg.ha⁻¹)

	Estrato					
	Inferior		Médio		Superior	
	IAN 873	RRIM 600	IAN 873	RRIM 600	IAN 873	RRIM 600
Raízes laterais	4.802	9.878	5.551	7.492	7.469	4.980
Raiz pivotante	44.196	18.664	41.433	24.617	42.176	29.350
Total de biomassa	48.997	28.542	46.984	32.109	49.645	34.330
Total de carbono	22.049	12.844	21.143	14.449	22.340	15.449

Ao se analisarem as raízes separadamente, ou seja, raízes laterais e pivotantes, observam-se variações em relação à localização na encosta (Tabela 7). No caso das raízes laterais do clone RRIM 600, verificou-se redução do volume do estrato inferior (Argissolo) para o superior (Latossolo), isto é, maior desenvolvimento de raízes laterais no Argissolo, enquanto no clone IAN 873, apesar da pequena variação, observou-se um aumento do estrato inferior (Argissolo) para o superior (Latossolo). Nas raízes pivotantes, verificou-se aumento de biomassa do estrato inferior para o superior no RRIM 600, enquanto, com relação ao clone IAN 873, não se registrou variação significativa entre os estratos. O menor desenvolvimento da raiz pivotante do clone RRIM 600, no estrato inferior, provavelmente está relacionado à presença do Argissolo com acúmulo de argila nos horizontes inferiores e, consequentemente, ao aumento da densidade aparente. Em regiões com distribuição irregular de chuvas e que apresentam um déficit hídrico acentuado, como é o caso de Minas Gerais, este aspecto reveste-se de grande relevância, uma vez que a seringueira precisa assegurar um bom desenvolvimento do sistema radicular e, consequentemente, um suprimento adequado de água para as plantas. Em seringais implantados em municípios da região da Zona da Mata, local deste estudo, tem-se observado

que, nas partes mais baixas da encosta, ocorre menor desenvolvimento das plantas, se comparadas às localizadas nas posições mais elevadas.

Observou-se também grande quantidade de raízes de sustentação grossas paralelas à pivotante, que, normalmente, são importantes em áreas muito declivosas, onde é comum a queda de árvores provocada por vento forte, freqüente na região. Cabe ressaltar que, tendo em vista que a raiz pivotante representou em média 82% do sistema radicular e, no caso de RRIM 600, apresentou variabilidade ao longo da encosta, a quantificação da biomassa da pivotante é imprescindível para a correta quantificação da biomassa radicular.

A estimativa do carbono orgânico na biomassa radicular da seringueira seguiu a mesma tendência observada para os clones (Tabela 7), com teor médio de 22,0 Mg ha⁻¹ de carbono no clone IAN 873 e de cerca de 14,0 Mg ha⁻¹ de carbono no clone RRIM 600.

COMPARAÇÃO ENTRE OS CLONES IAN 873 E RRIM 600

Quando se compararam os clones IAN 873 e RRIM 600, na análise dos dados da biomassa seca por compartimento, constatou-se que ambos os clones estocaram maior biomassa nos galhos grossos, representando 42 e 58 %, respectivamente, do total estocado na parte aérea dos clones RRIM 600 e IAN 873 (Figura 5A). Já os caules contribuíram com cerca de 20 e 23 % do total (Figura 5A). O clone RRIM 600 estocou no total 12 % a mais de biomassa que o IAN 873, estes com, respectivamente, 265 kg árvore⁻¹ e 235 kg árvore⁻¹ de biomassa aérea.

Em seringal de 15 anos, do clone PB 235, localizado em Paranapoema - PR, sobre Latossolo Vermelho-Escuro, encontrou-se a seguinte distribuição de biomassa por compartimento: semelhante aos dados deste estudo em galhos grossos (41%) e maior no caule (40,5%) (PEREIRA e RAMOS, 2004).

Seqüestro de Carbono

Lima et al. (2003), trabalhando em uma capoeira de 38 anos, também localizada na fazenda experimental da EPAMIG, observaram que a fração constituída por galhos grossos contribuiu com apenas 10 % da biomassa total, sendo o tronco responsável por cerca de 80 % da biomassa aérea. Nesta capoeira, as árvores estocaram, em média, apenas 54 kg árvore⁻¹, ou seja, cerca de cinco vezes menos biomassa que o clone de maior biomassa aérea, o RRIM 600.

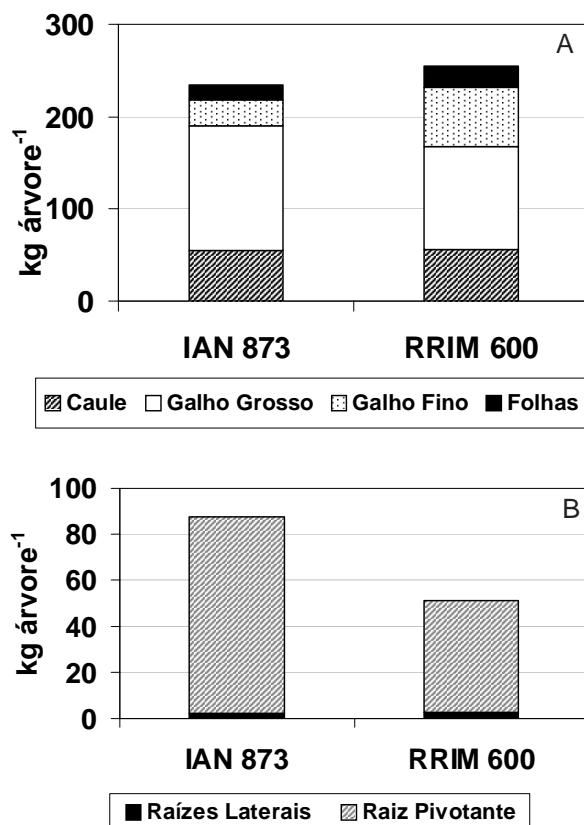


Figura 5 - Biomassa aérea (A) e radicular (B) por compartimento em seringueiras do clone IAN 873 e RRIM 600, em Oratórios, MG.

Com relação às raízes, a quantidade estocada pela raiz pivotante é, respectivamente, nos clones RRIM 600 e IAN 873, 35 e 17 vezes maior que o somatório de todas as raízes laterais (Figura 5 B). O estoque de biomassa acumulado na pivotante do clone IAN 873 é quase o dobro do acumulado no RRIM 600 (85 kg árvore⁻¹ no IAN 873 e 48 kg árvore⁻¹ no RRIM 600) (Figura 5 B). A biomassa de raízes representa, respectivamente, 37 e 18 % do total de biomassa aérea dos clones IAN 873 e RRIM 600.

É interessante observar que, apesar do clone IAN 873 apresentar maior biomassa nas raízes que o RRIM 600, neste verificou-se maior acúmulo na parte aérea, o que resultou em um acúmulo total de carbono por área semelhante entre os dois clones, ou seja, de 165,7 e 164,1 kg árvore⁻¹ de carbono no IAN 873 e RRIM 600, respectivamente (Figura 6 A e B).

Seqüestro de Carbono

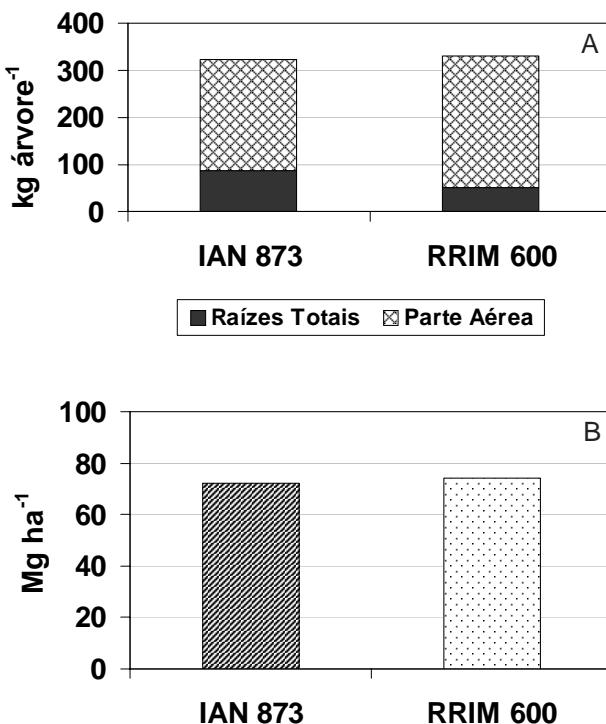


Figura 6 - Estoques totais de biomassa das raízes e áerea, por árvore (A) e por hectare (B), em seringueiras do clone IAN 873 e RRIM 600.

As biomassas médias de raízes no clone IAN 873 e RRIM 600, respectivamente, de $48,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $31,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, estão próximas da obtida na capoeira de 38 anos ($37,6 \text{ Mg ha}^{-1}$), incluindo a pivotante e as raízes laterais, em uma área de cinco metros de raio de distância do tronco (LIMA et al., 2005).

O carbono estocado pelos clones de seringueira IAN 873 e RRIM 600 dividido pelo tempo de plantio, 20 e 15 anos, respectivamente, resulta na taxa de acúmulo anual de carbono. Assim sendo, constatou-se maior eficiência do clone RRIM 600 ($4,9 \text{ Mg ha}^{-1}$), já que a taxa de acúmulo anual de carbono foi

Seqüestro de Carbono

maior nesse clone que no IAN 873 ($3,7 \text{ Mg.ha}^{-1}$) (Figura 7), ou seja, apesar de o primeiro ser cinco anos mais jovem, estocou 63,4% mais carbono orgânico. Esse resultado provavelmente seja em decorrência da maior biomassa foliar do clone RRIM 600 e consequentemente, com maior capacidade fotossintética.

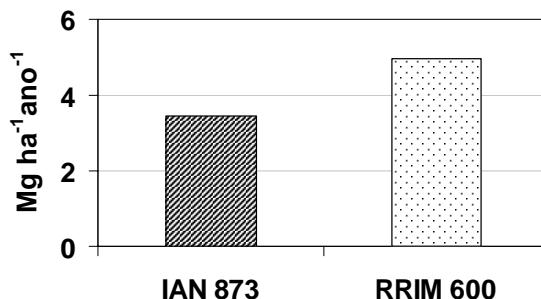


Figura 7 - Taxa anual de acúmulo de carbono na biomassa dos clones IAN 873 e RRIM 600.

Os resultados referentes ao carbono estocado na biomassa ficam assim distribuídos: no RRIM 600, um total de $73,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ sendo $59,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ na parte aérea e $14,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ nas raízes, enquanto o total de carbono do clone IAN 873 foi de $74,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, com $52,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ na parte aérea e 22 Mg ha^{-1} nas raízes.

O acúmulo total de biomassa observado por Pereira e Ramos (2004) no seringal de PB 235 de 15 anos no Paraná ($93,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi 20 % maior que o verificado no RRIM 600 e no IAN 873. No entanto, o estoque de raízes foi de duas a três vezes menor ($13,4 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Os resultados deste estudo comparados aos da capoeira (LIMA et al., 2004; total: $44,9 \text{ Mg ha}^{-1}$; parte aérea: $28,8 \text{ Mg ha}^{-1}$, e raízes: $16,1 \text{ Mg ha}^{-1}$), demonstraram que os clones de seringueira estocaram, em média, $28,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ a mais de carbono.

CARBONO ESTOCADO NA BORRACHA NATURAL

A quantificação do carbono orgânico estocado na borracha natural, neste estudo, foi obtida através de simulação a partir da produção da seringueira e da sua vida útil. O látex é uma suspensão coloidal, caracterizada por uma fase sólida (sóluto) dispersa em uma fase líquida (solvente). A fase sólida, que representa 40%, é constituída pelo hidrocarboneto polisopreno, juntamente com ésteres, protídios ou proteínas, ácidos graxos e sais minerais. A fase líquida, que representa 60%, é o soro, constituído em sua maior parte por água, ácidos orgânicos e enzimas (ESAH, 1990). A Tabela 8 mostra a composição da borracha natural.

Tabela 8 - Composição da borracha natural

Hidrocarbonetos de borracha	~93,7%
Proteínas	~2,2%
Carboidratos	~0,4%
Lipídios naturais	~2,4
Glicolipídios + fosfolipídios	~1,0
Materiais inorgânicos	~0,2
Outros	~0,1

O látex é praticamente neutro, com pH entre 7,0 e 7,2, mas, quando exposto ao ar por um período de 12 a 24 horas, cai para 5,0 e ocorre coagulação espontânea, formando o polímero que é a borracha, representada por $(C_5H_8)_n$, sendo n da ordem de 10.000, apresentando massa molecular média de 600.000 a 950.000g/mol.

A quantificação do carbono estocado na borracha seca crua evidencia que 90% de sua composição natural é de carbono. No Brasil, a quantidade média total de borracha seca produzida por um hectare de seringueira, em 30 anos, é de 45,0 t, sendo 40,0 t constituídas de carbono. A taxa anual de carbono orgânico acumulado pelo clone IAN 873 é de $3,7 \text{ Mg.ha}^{-1}$ e do clone RRIM 600 é de $4,9 \text{ Mg.ha}^{-1}$. Assim sendo, o total de carbono seqüestrado na biomassa da madeira e borracha produzida por um hectare de seringueiras do clone IAN 873, com 20 anos, e do clone RRIM 600, com 15 anos, é de cerca de 114 Mg.ha^{-1} .

CONCLUSÃO

1. O clone IAN 873 estocou maior percentual de carbono orgânico na biomassa da parte aérea, na seguinte ordem: galhos grossos > caule > galhos finos > folhas. Resultado semelhante foi encontrado na biomassa da parte aérea do clone RRIM 600, que apresentou o seguinte estoque de carbono: galhos grossos> galhos finos >caule > folhas.

2. O total de carbono orgânico estocado na parte aérea por árvore no clone IAN 873, em média, foi de 105,4 kg, o que representa $52,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, e no RRIM 600 foi de 119,4 kg, totalizando $59,6 \text{ Mg ha}^{-1}$. No caso da raiz, o total de carbono orgânico acumulado no clone IAN 873 foi de 22 Mg ha^{-1} e, no RRIM 600, foi de $14,0 \text{ Mg ha}^{-1}$.

3. O total de biomassa estocado no clone IAN 873 foi de $165,7 \text{ t ha}^{-1}$ e de carbono orgânico foi de $74,7 \text{ Mg ha}^{-1}$. No caso do clone RRIM 600, o total de biomassa estocado foi de $164,1 \text{ t ha}^{-1}$ e de carbono orgânico foi de $73,6 \text{ Mg ha}^{-1}$.

4. O total de carbono seqüestrado na biomassa da madeira e da borracha produzida por um hectare de seringueiras do clone IAN 873, com 20 anos, e do clone RRIM 600, com 15 anos, é de cerca de 114 Mg.ha^{-1} .

5. Constatou-se maior desenvolvimento dos clones IAN 873 e RRIM 600 nos solos latossólicos, traduzidos pela maior circunferência do caule das árvores.

6. Os resultados deste estudo permitem concluir que, além dos benefícios sociais e econômicos que plantios de seringueira podem proporcionar a pequenos e médios produtores, a espécie se apresenta como uma eficiente seqüestradora de carbono, podendo gerar receita para o País por meio do mercado de créditos de carbono, já que se trata de um cultivo perfeitamente sustentável e enquadrado nos critérios de elegibilidade do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Tratado de Quioto. Dentre os seringais estudados, o clone RRIM 600 mostrou-se o mais eficiente em acumular carbono.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AWE, J. O.; SHEPHERD, K. R.; FLORENCE, R. G. Root development in provinces of eucalyptus camadulensis Dehn. **Australian Forestry**. Melbourne, AU, v. 39, n. 1, p. 201-209, 1976.

CARMO, C. A. F. S.; CUNHA, T.J. F.; CALDERANO FILHO, B.; CONCEIÇÃO, M.; MENEGUELLI, N. do A.; BLANCANEAUX, P. **Influência de atributos químicos e físicos do solo no desenvolvimento da seringueira na região da Zona da Mata de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 23p. (Boletim de Pesquisa, 10)

CARMO, C. A. F. S.; MENEGUELLI, N. do A.; LIMA, J. A. de S.; EIRA, P. A.; CUNHA, T. J. F. Avaliação do estado nutricional de seringais implantados na região da Zona da Mata de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 10, p. 1437-1444, 2002.

Seqüestro de Carbono

CARMO, C. A. F. S.; ALVARENGA, A. de P.; MENEGUELLI, N. do A.; LIMA, J. A. de S.; MOTTA, P. E. F. **Estimativa do carbono orgânico estocado na fitomassa do clone IAN 873 em solos da região da Zona da Mata de Minas Gerais.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 19p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28)

CARMO, C. A. F. S.; MENEGUELLI, N. do A.; LIMA, J. A. de S.; MOTTA, P. E. F.; ALVARENGA, A. de P. **Estimativa do estoque de carbono na biomassa do clone Ide seringueira RRIM 600 em solos da Zona da Mata de Minas Gerais.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 19p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 24)

CASTRO, C. F de A. **Distribuição da fitomassa acima do solo e nutrientes em talhões de pinus Oocarpa Shiede plantados no Estado de São Paulo.** 1984. 63f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CORNISH, K. Biochemistry of natural rubber, a vital raw material, emphasizing biosynthetic rate, molecular weight and compartmentalization, in evolutionarily divergent plant species. **Nat. Prod. Rep.**, v. 18, p.182-189, 2001.

CORREA, L. S. **Distribuição do sistema radicular de cultivares de abacateiro (*Persea* sp) num solo podzólico vermelho-amarelo.** 1982. 119f. Dissertação (Doutorado) Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Piracicaba.

COSTA, R. B.; GONÇALVES, P. de S.; RÍMOLI, A. O.; ARRUDA, E. J. Melhoramento e conservação genética aplicados ao desenvolvimento local: o caso da seringueira (*hevea* sp.). **Interações:** Rev. Inter. de Desenvolvimento Local, v. 1, n. 2, p. 51-58, 2000.

Seqüestro de Carbono _____

CUNHA, T. J. F.; BLANCANEAUX, P.; CALDERANO FILHO, B.; CARMO, C. A. F. S.; GARCIA, N. C. P.; LIMA, E. M. B. Influência da diferenciação pedológica no desenvolvimento da seringueira no município de Oratórios, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 35, n. 1, p. 145-155, 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA/Serviços de Produção de Informação, 1999. 412p.

ESAH, Y. Clonal characterization of latex and rubber properties. **Journal of Natural Rubber Research**. Kuala Lumpur, v. 5, n. 1, p. 52-80, 1990.

GAMEIRO, A. H. **Importação e produção de borracha natural no Brasil**: período de 1992 a 2002. Disponível em: <<http://www.borrachanatural.org.br>>

GONÇALVES, M. R. **Crescimento, acúmulo de nutrientes e temperatura de copa em cinco espécies de eucalyptus spp. sob dois regimes híbridos**. 1992. 84f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GONÇALVES, P. S.; BATAGLIA, O. C.; ORTOLONI, A.A.; FONSECA, F. da S. **Manual de heveicultura para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 78p.

HAAG, P. H.; VIÉGAS, I. de J. M. Crescimento e extração de nutrientes da seringueira. In: VIÉGAS, I. de Jesus Matos; CARVALHO, Janice Guedes (eds.). **Seringueira: nutrição e adubação no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2000. 284p.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**. Manaus, v. 28, n. 2, p. 153-66, 1998.

Seqüestro de Carbono

HOUGHTON, R. A. Forests and the tropical carbon cycle: current storage and emissions. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂- UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 15-37.

LELES, P. S. dos S. **Crescimento, alocação e distribuição de nutrientes e uso de água em E. camaldensis e E. pellita sob diferentes espaçamentos.** 1995. 133f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LIMA, J. A. S.; CARMO, C. A. F. de S. do; KINDEL, A.; MOTTA, P. E. F. **Estimativa de biomassa e estoque de carbono de uma floresta secundária em Minas Gerais.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 18 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 20)

LIMA, J. A. S.; CARMO, C. A. F. de S. do; KINDEL, A.; MOTTA, P. E. F. **Metodologia para estimar a biomassa radicular de uma floresta secundária por meio da árvore média.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 19—. (Comunicado Técnico)

MARTINEZ, C. B. Efeitos do aumento de CO₂ atmosférico no crescimento das plantas. **Ação Ambiental.** Viçosa, MG, ano 4, n. 21, p. 16-19, 2001.

MILLER, D. E. Roots systems in relation to stress tolerance. **Hortscience.** Alexandria, Va, v. 21, n. 4, p. 963-970, 1986.

MORAES, V. H. F. Fisiologia da seringueira. In: CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SERINGUEIRA, 9. Belém, 1981. 37p.

MORAIS, E. J. **Crescimento e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais.** 1988. 56f. Dissertação

Seqüestro de Carbono _____

(Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MUCAMBO/MAPA PROFESSIONNEL. **História da borracha**. Disponível em:
<http://www.mucambo.com.br>.

PEREIRA, J. R.; RAMOS, A. L. M. Culturas intercalares e alternativas de renda para a cultura da seringueira. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE A HEVEICULTURA PAULISTA, 4., Bebedouro, SP, 24-25 nov. 2004. [Palestra...]. Bebedouro, SP : Secretaria de Agricultura e Abastecimento: APABOR, 2004. 18p.

POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de eucalyptus e pinus: implicações silviculturais**. 1985. 211f. Dissertação (Livre docência) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

RAHAMAN, W. A.; SIVAKUNARAN, S. Studies of carbon sequestration in rubber. IN: RUBBER FORUM, Bali, Indonésia, October, 19998. [Proceedings...] Gèneve; UNCTAD/IRSC, 1998. 17p.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P.; REZENDE, G. C.; BARROS,N.F. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de eucalyptus grandis plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**. Viçosa, MG, v. 11, n. 1, p. 43-5, 1987.

SÁ, T. D. de A. Aspectos climáticos da heveicultura no Brasil. In: VIÉGAS, I. de Jesus Matos; CARVALHO, Janice Guedes (eds.). **Seringueira: nutrição e adubação no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2000. 284p.

SALATI, E. Emissão x seqüestro de CO₂-uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂-UMA NOVA

Seqüestro de Carbono

OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, Rio de Janeiro.

Anais... Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 15-37.

SAS INSTITUTE INC. SAS on line Doc^r. Version 8. Cary, NC. 1999. CD-RO.

SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL: O AMBIENTE DA FLORESTA, 1., 1996. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1996.

SCHUMACHER, M.V.; WITSCHORECK, R.; CALDEIRA, M.V.W. E.; WATZLAWICK, L.F. Estoque de carbono em florestas de *Pinus taeda* L e *Acacia mearnsii* de wild. plantadas no Estado do Rio Grande do Sul-Brasil. In: SANQUETTA, C. R.; WARZLAWICH, L. F.; BALBINOT, R. MA.; ZILIOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. (eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, 2002. 264p.

Seqüestro de Carbono _____

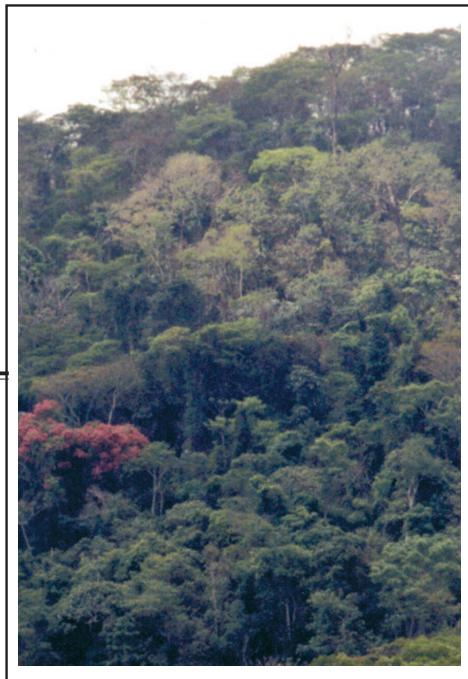
Capítulo 5

Jorge Araújo de Sousa Lima¹

Andreia Kindel²

Ciríaca A. F. Santana do Carmo¹

Paulo Emílio Ferreira da Motta¹



COMPOSIÇÃO, ESTRUTURA E BIOMASSA DE FRAGMENTOS FLORESTAIS

¹ Pesquisadores da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. CEP 22460-000, Rio de Janeiro, RJ. e-mails: ciraca@cnps.embrapa.br; jorge@cnps.embrapa.br; motta@cnps.embrapa.br.

² IBAMA-DF, SCEN Trecho 2 - Ed. Sede, Cx. Postal nº. 09870, CEP 70818-900, Brasília, DF.
e-mail: andreia.kindel@ibama.gov.br.

INTRODUÇÃO

A área de Mata Atlântica no Sudeste brasileiro é formada por mosaicos de fragmentos florestais, de diferentes formas e tamanhos, espalhados em meio a empreendimentos rurais e centros urbanos. São fragmentos de vegetação secundária (“capoeiras e capoeirões”) em diversos graus de isolamento e raros remanescentes em áreas de difícil acesso, ou protegidos pelo poder público.

A vegetação é classificada como secundária quando resulta de um processo que teve início a partir de uma perturbação que destruiu, por completo, a vegetação original. Essa perturbação pode ter causas naturais (enchentes, vulcões e furacões, entre outras), ou ser devida à ação humana, que, em geral, elimina a floresta para dar lugar a cultivos ou pastagens. Com o abandono, esses lugares dão início à formação de *capoeiras*, que é a floresta secundária no estádio sucesional inicial.

A sucessão florestal é um processo ecológico em que, em um mesmo local, ao longo do tempo, diversas séries de comunidades vegetais se sucedem (FINEGAN, 1984). O ecossistema é ocupado inicialmente por pioneiras que alteram as condições de microclima e solo, facilitando o estabelecimento de outras, e assim por diante. A biomassa aumenta com o crescimento das árvores e a riqueza de espécies cresce pela ação de vetores bióticos e abióticos de dispersão (HOLDRIDGE, 1978; PIJL, 1982). Isso continua até atingir, em longo prazo (séculos), a condição teórica do clímax, no qual o número de espécies se estabiliza (MacARTHUR e WILSON, 1967) e a aquisição de fotoassimilados se iguala ao seu consumo (ODUM, 1987).

À medida que as árvores crescem e a estrutura se torna mais pesada, modificam-se as condições internas de luminosidade e, com a ciclagem de matéria orgânica através da serrapilheira, também o solo se altera. Luz e solo condicionam o ambiente e são importantes fatores de seleção de indivíduos.

Entretanto, em ambiente tropical, a subsistência em solos ácidos, com alta diluição de nutrientes e saturação de alumínio, é fator decisivo, pois caracteriza a maioria dos solos da região (RODRIGUES, 1996).

A conservação e a recuperação florestal da Mata Atlântica dependem, portanto, de políticas específicas de gestão baseada nos fragmentos florestais e dirigidas às áreas degradadas. Tais políticas, para que sejam sustentáveis, devem ser feitas à luz de conhecimentos científicos, baseando-se em levantamentos prévios das condições ambientais, bióticas e abióticas, com ênfase no processo de sucessão natural. Desse ponto de vista, é importante maior conhecimento das espécies pioneiras, o que faz das capoeiras um acervo vivo de informações porque abrigam populações arbóreas que colonizam sítios degradados (SOUZA et al., 2001).

Este trabalho tem por foco a Zona da Mata de Minas Gerais, onde, de acordo com IBGE (2003), em 1996, apenas cerca de 12% encontrava-se com vegetação arbórea natural (Tabela 1). Grosso modo, nesta sub-região, seriam necessários, para cobrir os 20% de reserva legal previstos na legislação, mais de cerca de 132.786 ha de vegetação arbórea, descontadas as áreas de lavouras permanentes e as de matas e reflorestamentos que podem ser incluídas como reserva legal, dependendo do tamanho da propriedade (BRASIL, 2003a;b).

Seqüestro de Carbono

Tabela 1 - Distribuição do uso da terra na Zona da Mata de Minas Gerais, em hectares e em porcentagem, em 1996

Uso da Terra	Área (ha)	Área (%)
Lavouras permanentes	218.098,69	8.4
Lavouras temporárias	227.535,09	8.7
Pastagens plantadas	372.809,45	14.3
Pastagens naturais	1.287.686,51	49.5
Matas e florestas naturais	302.825,22	11.6
Matas e florestas artificiais	43.364,73	1.7
Terras produtivas não utilizadas	42.002,49	1.6
Terras inaproveitáveis	107.481,37	4.1

Fonte: IBGE, 1996.

A avaliação da composição florística, da estrutura associada e da biomassa também gera indicadores quantitativos para o monitoramento do meio ambiente, servindo como referência para a comparação com os diversos componentes dos agroecossistemas. Nesses termos, dois fragmentos florestais secundários, em diferentes estádios sucessionais, foram avaliados quanto à composição, estrutura e biomassa em Oratórios, MG.

AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA E DA COMPOSIÇÃO

Os fragmentos são conhecidos como *Capoeira* (Figura 1) e *Mata da Fazendinha* (Figura 2). A denominação *Capoeira 38* deve-se ao fato de, segundo os moradores mais antigos, em 1965, 38 anos antes deste levantamento, ter-se iniciado a sucessão. Após extração de madeira da mata original, ateou-se fogo nas árvores remanescentes para se fazer o plantio de café, que terminou não acontecendo. Esse fragmento tem cerca de 35 ha, estendendo-se pelo

Seqüestro de Carbono

terço superior da colina que percorre setores internos e limítrofes da fazenda. A Mata da Fazendinha tem cerca de 20 ha e é ladeada por pastos ou capoeiras jovens, não havendo indicações de que tenha sido substituída por plantios ou pastos há, pelo menos, 80 anos. A vegetação, de acordo com o IBGE (1992), é classificada como Floresta Estacional Semidecidual Submontana.



Figura 1 - Face sul da Capoeira 38, margeada por cultivo de café. Fazenda Experimental Vale do Piranga -Oratórios – MG (2003).

Foto: Jorge Lima

Na Capoeira 38, visando comparações, o trecho selecionado para o estudo é vizinho de cultivos de seringueiras de 15 anos ao norte e de café ao sul. Demarcaram-se quatro parcelas de 50 x 20 m em nível, sendo duas em cada lado da colina (norte e sul). Na Mata da Fazendinha, que cobre a face

Seqüestro de Carbono

norte de uma colina, sendo ladeada por pastos e capoeiras jovens, estabeleceram-se seis parcelas de 1.000 m².



Figura 2 - Aspecto de parte da Mata da Fazendinha. Fazenda Experimental Vale do Piranga -Oratórios – MG (2003). Foto: Jorge Lima

Todas as árvores, no interior das parcelas, com diâmetro de 1,30 m de altura ($DAP \geq 5$ cm) foram identificadas quanto à família, no campo e no laboratório, com o auxílio de amostras dendrológicas.

Intervalos de confiança foram estabelecidos com base na distribuição $t_{(\alpha=0,05)}$ de Student, em relação às médias das parcelas.

A diversidade de espécies foi estimada pelo índice de Shannon (H') (SHANNON e WEAVER, 1949), conforme a equação seguinte:

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

em que S é o número de espécies e p_i é a abundância proporcional da espécie i .

Os fragmentos apresentaram distribuições diamétricas bastante semelhantes quanto à forma. Observou-se a ocorrência de indivíduos somente até 50 cm na Capoeira 38, enquanto, na Mata da Fazendinha, registraram-se árvores até de 80 cm. Em ambas, a distribuição foi inversa entre número de indivíduos e diâmetro das árvores. Essa distribuição é a usual na natureza que se expressa, graficamente, pela curva na forma de "J" invertido (Figura 3).

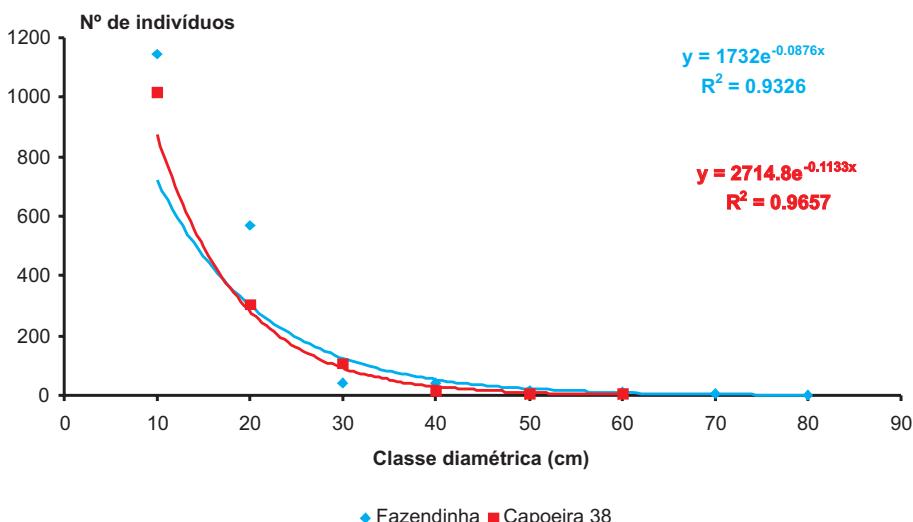


Figura 3 - Gráfico relacionando classe diamétrica e número de indivíduos dos fragmentos de floresta secundária em Oratórios – MG.

Seqüestro de Carbono

As contribuições das classes diamétricas para a área basal dos fragmentos foram muito parecidas (Figura 4), mas foram maiores na Mata da Fazendinha (área basal = $30,2\text{m}^2\text{ ha}^{-1} \pm 7,6\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$; n° de ind. $\text{ha}^{-1} = 1913 \pm 19$) em relação à Capoeira 38 (área basal = $16,9\text{ m}^2.\text{ha}^{-1} \pm 2,6\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$; n° de ind. $\text{ha}^{-1} = 1232 \pm 226$). Este dado, que reflete a mais longa cronologia da Mata da Fazendinha, dada sua estrutura mais desenvolvida, corrobora o relato dos moradores mais antigos quanto à maior idade deste fragmento.

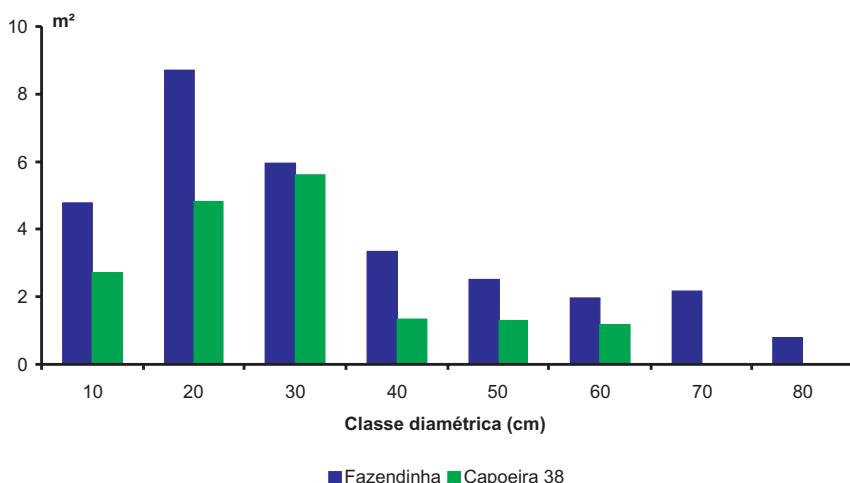


Figura 4 - Gráfico relacionando classe diamétrica e área basal (m²) dos fragmentos de floresta secundária em Oratórios – MG.

A composição florística indicou a maior dominância da família *Euphorbiaceae* nos dois fragmentos. Na Capoeira 38, esta decorre da alta densidade de *Mabea fistulifera* (canuto-de-pito) (Figura 5). Esta é uma espécie pioneira típica dessa fase sucessional, podendo persistir em estádios mais avançados da sucessão (MEIRA-NETO e MARTINS, 2000) ou mesmo em amostras próximas ao clímax (DRUMMOND, 1996; CARVALHO et al., 2000) (Tabela 4). Já na Mata da Fazendinha, a dominante foi *Actinostemon sp.*



Figura 5 - Árvore de canudo-de-pito em frutificação indicada pelo vermelho dos frutos em vários ramos. Oratórios – MG. Foto: Jorge Lima

O valor que se obteve para o Índice de Shannon ($H' = 2,38$) na Capoeira 38 indica uma diversidade florística bem menor que a de outros fragmentos de vegetação secundária da região. Drummond (1996) obteve $H'=3,09$ em uma capoeira de 26 anos no Médio Rio Doce (MG). Dislich et al. (2001) encontraram, no Planalto Paulistano, $H' = 3,04$; Meira-Neto et al. (1998) obtiveram $H' = 3,42$ na Zona da Mata de Minas Gerais, e Bertani et al. (2001), em um trecho de floresta sob perturbação antrópica que cobre diferentes tipos de solo, obtiveram H' entre 3,0 e 3,5. Contudo, na Mata da Fazendinha o valor obtido ($H'= 3,20$) se situa entre esses valores.

Seqüestro de Carbono

Na Capoeira 38, a baixa diversidade pode resultar, além da curta cronologia, de acordo com Wadt et al. (1998), da influência da forma do fragmento, que favorece a baixa diversidade florística quando há maior proporção de condições restritivas das bordas. Neste estudo, foi observado fragmento, em grande parte, relativamente longilíneo, recobrindo a porção superior da colina (Figura 1) e resultante de uma queimada completa. Drummond (1996) reporta regeneração a partir de corte raso, o que favorece a rebrota de tocos e a conservação de boa parte da comunidade arbórea. Na Mata da Fazendinha, apesar da significativa dominância e densidade de *Actinostemon* sp., a maior riqueza representada pelas 120 espécies encontradas (contra as 37 da Capoeira 38) refletiu-se no maior índice de diversidade, indicando que se encontra em estádio sucessional mais avançado.

Tabela 2 - Identificação botânica, densidade (%) e dominância (%) das principais populações arbóreas da Capoeira 38. Oratórios – MG

Espécie	Família	Dom%	Dens%
<i>Mabea fistulifera</i>	Euphorbiaceae	26.5	40.5
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Mimosaceae	17.3	5.9
<i>Apuleia leiocarpa</i>	Caesalpiniaceae	11.5	8.4
<i>Anadenanthera peregrina</i>	Mimosaceae	14.4	5.3
<i>Casearia</i> sp	Flacourteaceae	6.7	9.2
<i>Erythroxyna</i> sp.	Erythroxylaceae	2.6	3.5
<i>Pithecelobium tortum</i>	Mimosaceae	4.4	1.4
<i>Xylopia sericea</i>	Annonaceae	1.4	3.9
<i>Brosimum</i> sp	Moraceae	2.3	2.7
<i>Criptocarpa macroflora</i>	Compositae	1.6	3.1

Tabela 3 - Identificação botânica, densidade (%) e dominância (%) das principais populações arbóreas da Mata da Fazendinha. Oratórios – MG

Espécie	Família	Dom%	Dens%
<i>Actinostemom sp</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	18.6	40.6
<i>Pithecelobium tortum</i>	<i>Mimosaceae</i>	9.4	3
<i>Brosimum sp</i>	<i>Moraceae</i>	1.6	2.6
<i>Siparuna sp.</i>	<i>Monimiaceae</i>	1	2.2
<i>Bathyza meridionales</i>	<i>Rubiaceae</i>	0.8	2
<i>Virola oleifera</i>	<i>Myristicaceae</i>	2.4	1.9
<i>Ocotea odorifera</i>	<i>Lauraceae</i>	1.4	1.9
<i>Sorocea bonplandii</i>	<i>Moraceae</i>	0.9	1.8
<i>Pouteria sp</i>	<i>Sapotaceae</i>	1.7	1.7
<i>Casearia sp</i>	<i>Flacourteaceae</i>	3.2	1.7

AVALIAÇÃO DA BIOMASSA AÉREA

Capoeira 38

As medidas de fitomassa da Capoeira 38 foram realizadas por método direto, abatendo-se uma árvore com dimensões médias de cada uma das sete espécies de maior densidade (nº de árvores/ha), as quais correspondem à maior parte da massa arbórea (Tabelas 5 e 6).

Pedaços das árvores de até 10 kg foram cortados com motosserra e pesados no campo (Figura 6). As medições foram compartimentadas em “tronco” (do piso ao topo), “galho grosso” ($\varnothing > 2$ cm), “galho fino” ($\varnothing < 2$ cm) e “folha”. A estimativa de peso de cada compartimento foi feita após a secagem de amostras em estufa, com aeração forçada a 65°C até atingir peso constante.

Seqüestro de Carbono

Para estimar biomassa por hectare, multiplicaram-se, para cada população, as medidas de peso total das amostras secas obtidas nas árvores abatidas, ponderando-se proporcionalmente o tamanho de cada população. Para incluir as espécies não amostradas, extrapolou-se para 100% os totais obtidos tanto por dominância como por densidade. Para as estimativas de carbono, utilizou-se um fator de conversão de 0,45, indicado para florestas secundárias (FEARNSIDE, 1996).



Figura 6 - Amostragem de pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha* – Mimosaceae). Oratórios – MG. Foto: Jorge Lima.

O estoque de biomassa seca variou um pouco com o critério utilizado: de acordo com a densidade das árvores, foi de $64.005,2 \text{ kg.ha}^{-1}$ ($\pm 3.127 \text{ kg.ha}^{-1}$) e, com dominância, de $66.126,9$ ($\pm 4.155 \text{ kg.ha}^{-1}$) (Tabela 5). Esses totais

correspondem, respectivamente, em quantidade de carbono, a 28.802,3 kg.ha⁻¹ (± 1.362 kg.ha⁻¹) e 29.757,1 kg.ha⁻¹ (± 1.870 kg.ha⁻¹).

Os valores obtidos estão acima daqueles registrados por Drummond (1996), para uma floresta secundária, igualmente de Mata Atlântica, mas de 26 anos ("Mombaça" - 57.500 kg.ha⁻¹) e com origem em um corte raso, o que pode ser causa da maior taxa de crescimento, devido à brotação de tocos. No presente caso (38 anos), a vegetação original foi destruída pelo fogo ateado na época em que se implantou o cultivo de café. Contudo, com a declividade local e as prováveis perdas de material por erosão superficial, como sugere a hipótese levantada por Kindel et al. (Capítulo 6), é provável que as condições sejam bastante diversas daquelas encontradas por Drummond (1996), limitando essa comparação.

Estimativas obtidas na Amazônia, por Nelson et al. (2000), também não ficam distantes, contudo o autor aponta exemplos em que a intensidade de uso da terra e o tempo em que ficou exposta à exploração são causas determinantes da variação expressiva nesses valores, havendo casos de acumulação de fitomassa até dez vezes mais rápida, ou ainda menores.

Um outro aspecto de possível restrição ao crescimento da floresta secundária, neste caso, pode ser o acentuado efeito de borda que favorece a abundante regeneração de espécies pioneiras de madeira menos densa e de cipós que podem reduzir muito a iluminação dos estratos inferiores, afetando seu ritmo de crescimento (LAURENCE e YENSEN, 1991).

A notável presença de canudo-de-pito, amplamente dominante, pode ser medida pela sua importância na estrutura da floresta. Em conjunto, as seis espécies de maior abundância alcançaram 77,9% da densidade e 80,5% da dominância arbórea do sítio, dos quais, respectivamente, 40,5% e 26,5% são contribuições da população dominante (Tabela 2).

Seqüestro de Carbono _____

Tabela 4 -Identificação botânica das espécies mais representativas da Capoeira. Oratórios – MG

Nome vernacular	Espécie	Família
Angico Vermelho	<i>Anadenanthera peregrina</i>	Mimosaceae
Canudo de Pito	<i>Mabea fistulifera</i>	Euphorbiaceae
Espeto	<i>Casearia sp</i>	Flacourticaceae
Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>	Caesalpiniaceae
Pau Fumo	<i>Criptocarpa macroflora</i>	Compositae
Pau Jacaré	<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Mimosaceae
Pimenteira	<i>Xylopia sericea</i>	Annonaceae

Obteve-se o maior peso médio relativo do compartimento “tronco” (3/4 do total), seguido por “galho grosso”, “folha” e “galho fino”, considerando, em conjunto, as espécies avaliadas (Tabela 5). Entretanto, observou-se que pau-fumo não apresentou “galho grosso”; pimenteira apresentou mais “galho fino” do que “galho grosso”, enquanto pau-fumo, espeto e garapa apresentaram mais “galho fino” do que “folha” (Tabela 5). Essas variações contrastam as espécies, dão uma idéia do estádio fenológico em que se encontravam e, principalmente, indicam como a biomassa tende a se distribuir na estrutura física da floresta.

Na época em que se fez o estudo de campo, novembro, início de período chuvoso, a maioria das árvores da mata, incluindo as abatidas, estava com folhagem abundante, algumas com flores e uma em início de frutificação (garapa). Se fosse realizado no período de estiagem, certamente o ciclo fenológico afetaria esses resultados sem, contudo, alterar significativamente a contribuição geral de “tronco” e “galho grosso”, que, em conjunto, respondem por 88% da fitomassa do sítio.

A presença dominante de canudo-de-pito no sítio estudado, onde o solo é de baixa fertilidade e o efeito de borda é importante, sugere a possibilidade do uso dessa espécie como pioneira em programas de recuperação da vegetação natural em solos de baixa fertilidade.

Seqüestro de Carbono

Tabela 5 - Peso de biomassa seca (kg), total e relativo, por compartimento, por espécie e totais, dominância (Do) e densidade (De) relativa por espécie e por hectare

Espécies	Tronco	Galho grosso	Galho fino	Folha	Total/a	Total/ha	Do(%)	Do(m ³)	De(%)	De
Canudos-de-pito	44,2	3,6	0,8	3,9	52,5	25.972,8	26,4	4,5	40,2	495,0
Espeto	27,5	1,3	1,0	0,9	30,6	3.444,4	6,7	1,1	9,1	112,5
Garapa	53,3	2,4	2,0	3,5	61,1	6.262,7	11,5	2,0	8,3	102,5
Jacaré	94,3	35,3	6,1	8,6	144,3	10.461,3	17,3	2,9	5,9	72,5
Pau-fumo	10,7	0,0	1,2	0,8	12,6	821,1	2,7	0,5	5,3	65,0
Angico-vermelho	38,3	6,0	5,7	5,0	55,0	3.572,0	14,4	2,5	5,3	65,0
Pimenteira	13,4	1,2	2,3	3,5	20,4	970,2	1,4	0,2	3,9	47,5
Estimativa gerais										
Soma	281,6	49,8	19,1	26,0	376,5	51.506,5	80,5	13,7	77,9	960,0
Percentual	74,8	13,2	5,1	6,9						
Todas espécies							64.005,2*	17,0	66.126,9*	1.232,‡

(*) Estimado por extrapolação simples a 100% a partir de Do (80,5%) e De (77,9%).

Mata da Fazendinha

Neste fragmento, optou-se por não abater árvores para estimar a biomassa, evitando perturbações no sítio de maior diversidade local, não tendo, portanto, estimativas da biomassa radicular. Os resultados são apresentados em média das parcelas, e o intervalo de confiança, pela distribuição $t_{(\alpha=0,05)}$ de Student. As estimativas tiveram por base o volume do tronco com casca, de acordo com as equações alométricas de CETEC (1983), apresentadas a seguir, sendo convertidas em peso de cascas secas pelo fator de densidade de madeira com casca, 0,54, utilizado em florestas secundárias da região:

$$\log(v) = -0,07 + 1,980615 \log(d) + 0,807550 \log(h) \text{ com } r^2=0,99,$$

em que v = volume do tronco de cada árvore

d = diâmetro do tronco a 1,30m do solo em cm, e

h = altura comercial do tronco em m

Para a estimativa do volume de copa das árvores:

$$\ln(vg) = -5,67084 + 18,20443d - 14,42407d^2, \text{ com } r^2=0,73$$

em que vg= volume da fitomassa lenhosa da copa e

h= altura total em m

Os resultados obtidos com o uso dessas equações indicaram biomassa arbórea, em peso seco, de cerca de $172.730 \text{ kg.ha}^{-1}$ ($\pm 17.981 \text{ kg.ha}^{-1}$) e estoque de carbono de $77.728 \text{ kg.ha}^{-1}$ ($\pm 8.091 \text{ kg.ha}^{-1}$). A título de comparação, a Capoeira 38, com o uso dessa mesma equação indicou valores de $73.752 \text{ kg.ha}^{-1}$ ($\pm 6.762 \text{ kg.ha}^{-1}$) e $33.188 \text{ kg.ha}^{-1}$ de carbono ($\pm 3.043 \text{ kg.ha}^{-1}$). Cabe considerar que o método do abate da árvore média, utilizado para a estimativa da biomassa da Capoeira 38, resultou em estimativa entre $64.005,2 \text{ kg.ha}^{-1}$ e $66.126,9 \text{ kg.ha}^{-1}$.

AVALIAÇÃO DA BIOMASSA RADICULAR

As estimativas de biomassa florestal referem-se, por diversas razões, aos compartimentos acima do solo, sendo raras as que incluem o sistema radicular. Descrevem-se aqui os resultados da utilização do conceito de árvore média para, através de medições diretas, estimar a biomassa radicular da Capoeira 38.

A mensuração das raízes realizou-se em torno das árvores abatidas mencionadas acima, como descrito a seguir: O solo foi escavado para a remoção da raiz pivotante (RP) completa. No raio de 1,0m, escavou-se um terço da circunferência (120° , Figura 7), em direção aleatoriamente escolhida, para compor a amostra de raízes laterais próximas (RLP). Ampliando-se essa circunferência para 5m, na seção de 1 a 5m, também em ângulo de 120° , na mesma direção da amostragem de RLP, escavaram-se quatro covas, aleatoriamente localizadas, de $0,5 \times 0,5\text{m}$ ($0,25\text{m}^2$) para amostrar raízes laterais distantes (RLD). Tanto para RLP como para RLD, as raízes foram coletadas até 0,6m de profundidade ou até sua inexistência. As amostras foram peneiradas no campo e em laboratório, lavadas, pesadas e subamostradas para secagem em estufa ventilada a 65°C , visando a determinação do peso quando secas. As raízes RP correspondem às da árvore abatida, entretanto as RLP e RLD, por não haver como identificar com segurança sua origem, representam o total de raízes encontradas, englobando as de outras espécies.

Após a transformação dos dados para peso das raízes secas, calculouse a massa de todas as frações da seguinte forma: o peso de RP foi multiplicado pela proporção correspondente ao número de indivíduos daquela população. ha^{-1} , enquanto RLP foi previamente extrapolado para o total da circunferência de 1,0m e, assim como RP, ponderou-se relativamente à abundância da população correspondente. Os dados de RLD foram extrapolados a 77,9% de hectare, o que, de acordo com a Tabela 3, corresponde

Seqüestro de Carbono

à densidade total das populações amostradas, ponderando-se a participação de cada população nesse total, mas descontando-se a área ocupada por RP e RLP ($3,14 \text{ m}^2.\text{árvore}^{-1}$). A soma de RP, RLP e RLD foi extrapolada de 77,9% a 100% como estimativa do total de raízes.ha $^{-1}$, em razão da inexistência de dados de raízes das populações não amostradas.



Figura 7 - Detalhe da seção de 1m de raio e 120º, para a mensuração das raízes laterais próximas (RLP) de *Apuleia leiocarpa* – Caesalpinaeae. Foto: Jorge Lima

A diferença de procedimento entre RLP e RLD deve-se ao fato de a 1,0m de distância da árvore abatida (RLP) haver muito poucas raízes de outras espécies, enquanto, de 1 a 5m de distância (RLD), tem-se um espaço de ampla interação das espécies locais.

Seqüestro de Carbono

Os resultados em peso de raízes secas, com os respectivos intervalos de confiança, indicam totais de RP = 13.285 kg.ha⁻¹ (\pm 970 kg.ha⁻¹); RLP = 13.302 kg.ha⁻¹ (\pm 5.707 kg.ha⁻¹) e RLD = 11.417 kg.ha⁻¹ (\pm 1.313 kg.ha⁻¹), correspondendo a um total de 38.004 kg.ha⁻¹ (\pm 5.587 kg.ha⁻¹).

Associando-se aos resultados da parte aérea (64.005 \pm 12.097 kg.ha⁻¹), a biomassa arbórea total desse fragmento é estimada em torno de 102.009 kg.ha⁻¹ (\pm 16.933 kg.ha⁻¹), com o sistema radicular contribuindo com cerca de 37,2% desse total.



Figura 8 - Parte da raíz pivotante de *Apuleia leiocarpa* – Caesalpinaeae antes da remoção.

Foto: Jorge Lima

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTANI, D.F. et al. Análise temporal da heterogeneidade florística e estrutural em uma floresta ribeirinha. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 11-23, Março. 2001.

BRASIL. Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Coordenação de Monitoramento e Controle Florestal – COMON. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/>. Acesso em: 26 jun. 2003a.

BRASIL. **Medida provisória n. 2.166-67, de 24 de agosto de 2001**. Altera os artigos 1º, 4º, 14, 16 e 44, e acresce dispositivos à Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o Código Florestal, bem como altera o art. 10 da Lei nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996. Coordenação de Monitoramento e Controle Florestal – COMON. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/>. Acesso em: 26 jun. 2003b.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Primeiro relatório nacional para a Convenção sobre Diversidade Biológica**. Brasília, D.F., 1998. 283 p.

CARVALHO, L.M.T.; FONTES, M.A.L.; OLIVEIRA-FILHO, A.T. Tree species distribution in canopy gaps and mature forest in an area of cloud forest if the Ibitipoca Range, south-eastern Brazil. **Plant Ecology**, The Netherlands., v. 149: 9-22, Julho 2000.

DISLICH, R.; CERSÓSIMO, L; MANTOVANI, W. Análise da estrutura de fragmentos florestais no Planalto Paulistano-SP. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 321-332, Setembro 2001.

DRUMMOND, M. A. **Alterações fitossociológicas e edáficas decorrentes de modificações da cobertura vegetal na Mata Atlântica, região do Médio**

Seqüestro de Carbono _____

Rio Doce. MG. Viçosa: UFV, 1996. 73p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa.

FEARNSIDE, P. Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon Forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 80, p. 21-34, January 1996.

FINEGAN, B. Forest succession. **Nature**, Londres, 311:109-114, 1984.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA (São Paulo, SP). **Atlas da evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados no domínio da mata atlântica: relatório**. São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Instituto Socioambiental, 1998. 54 p.

HOLDRIDGE, L.R. **Ecología basada en zonas de vida (ecological life zones)**. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1978. 216 p.

IBGE. **Censo Agropecuário 1996**. Rio de Janeiro: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?z=t&o=1>. (Tabela 318, Utilização das terras na mesoregião geográfica Zona da Mata – MG em hectares). Acesso em: 26 jun. 2003.

IBGE. Diretoria de Geociências. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992. 92 p.

JORDAN, H.; HERRERA, R. Tropical rain forests: Are nutrients really critical? **The American Naturalist**, Chicago, v. 117, n. 2, p.167-180, February, 1981.

LAURANCE, W. F.; YENSEN, E. Predicting impacts of edge effects in fragmented habitats. **Biological Conservation**, Essex, v.55:77-92, 1992.

Seqüestro de Carbono

LIMA, J. A. S. et al. **Estrutura e diversidade florística de uma floresta secundária de Oratórios, Zona da mata de Minas Gerais.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003a. 17 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; 31).

MACARTHUR, R.H.; WILSON, E.O. **Island biogeography.** New Jersey: Princeton University Press, 1967. 203 p.

MEIRA-NETO, J.A.A.; MARTINS, E.R. Composição florística do estrato herbáceo-arbustivo de uma floresta estacional semidecidual em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 407-416, 2000.

NELSON, R. F. et al. Secondary forest age and tropical forest biomass estimating using thematic mapper imagery. **Bioscience**, Washington, D.C., v. 50, n.5, p. 419-431, 2000.

ODUM, E.P. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 201p.

PIJL, V. L. **Principles of dispersal in higher plants.** 3.ed. Berlin, Springer-Verlag, 1972. 197 p.

RODRIGUES, T. E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M.P.F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa: SBCS: UFV, Departamento de Solos, 1996. p. 19-60.

SIQUEIRA, J. O. et al. Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native woody species as related to successional groups in Southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 107: 241-252, August 1998.

SOUZA, P.A. et al. Estabelecimento de espécies arbóreas em recuperação de área degradada pela extração de areia. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 43-52, 2001.

Seqüestro de Carbono _____

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal.** Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria de Geociências, 1991. 123 p.

VITOUSEK, P.M.; SANFORD JR., R.L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology Science**, v. 17, p.137-167, 1986.

WADT, M. F.; TABANEZ, A.; VIANA, V. M. Estudo do efeito de borda de um fragmento florestal estacional semidecidual na Bacia do Corumbataí. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 12, n. 32, p. 143, Dezembro 1998.

Capítulo 6

Andreia Kindel¹
Ciriaca A. F. Santana do Carmo²
Jorge Araújo Sousa Lima²
Bruno Simões³
Antônio de Pádua Alvarenga⁴
Daniel Vidal Pérez²



CICLAGEM DE NUTRIENTES E ESTOQUE DE CARBONO NA SERRAPILHEIRA DE SERINGAIS E FRAGMENTOS DA MATA ATLÂNTICA

¹ IBAMA-DF, SCEN Trecho 2 - Ed. Sede, Cx. Postal no. 09870, 70818-900, Brasília, DF.
e-mail: andreia.kindel@ibama.gov.br.

² Pesquisadores da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. CEP 22460-000, Rio de Janeiro, RJ. e-mails: ciriaca@cnps.embrapa.br; jorge@cnps.embrapa.br daniel@cnps.embrapa.br

³ Técnico da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. CEP 22460-000, Rio de Janeiro, RJ.

⁴ Pesquisador da EPAMIG. Vila Giannetti, 46/47 – UFV, CEP 36570-000, Viçosa, MG.
e-mail: padua@epamig.ufv.br.

INTRODUCÃO

A compreensão da dinâmica da decomposição da seringueira é importante para aferir o balanço de carbono e nutrientes em sistemas florestais e agroflorestais. Assim, neste capítulo são apresentados dados de quantificação de matéria orgânica, carbono e macronutrientes do solo de plantios clonais de seringueira, usando como referência fragmentos locais da Mata Atlântica.

A avaliação da decomposição é feita por meio da análise da fenologia do aporte orgânico e do padrão morfológico da associação entre a matéria orgânica e o material mineral na superfície dos perfis, isto é, pela análise das formas de húmus, ou ainda, da serrapilheira, do horizonte O, dos horizontes holorgânicos, dos horizontes húmicos ou do subsistema decompositor (KINDEL et al., 2003).

A variabilidade nos acúmulos de matéria orgânica, representada pelos horizontes holorgânicos em diferentes estádios de decomposição, está diretamente relacionada com a velocidade de decomposição do sistema (GRENN et al., 1993; BRÊTHES et al., 1995). Dessa forma, é possível verificar, nas áreas de estudo, se nos diferentes clones de seringueira, o IAN 873 e o RRIM 600, ou nas matas a decomposição é mais rápida e qual a razão, evidenciando-se, ainda, suas implicações na fertilidade do solo.

Alguns estudos comprovaram bom desenvolvimento da seringueira em Latossolos de topo de morro (CARMO et al., 2000a). Como há grandes extensões de terra degradadas no País, a heveicultura constituiria importante alternativa de plantio para essas regiões, como a Sudeste, que apresenta áreas declivosas cuja cobertura vegetal original foi muito devastada. Recente zoneamento feito pela Embrapa Solos demonstra que 24 % da área do Estado do Rio de Janeiro encontra-se apta para o desenvolvimento da heveicultura

(CARMO et al., 2004).

A ciclagem de nutrientes na heveicultura, visando sua utilização como alternativa para recuperação de áreas degradadas, é pouco pesquisada. A maioria dos estudos avalia o efeito de diferentes tratamentos (adubações, calagem) na produtividade do seringal (BATAGLIA et al., 1988; 1998; 1999; MURBACH et al., 2003; VIÉGAS et al., 2000) ou da influência dos fatores edáficos no desenvolvimento das plantas (CARMO et al., 2000a).

Objetiva-se, portanto, neste estudo, verificar a influência dos diferentes clones de seringueira nas características do solo e na reconstituição dos estoques orgânicos do solo e da sua condição nutricional.

Aporte Orgânico

Para a coleta de aporte orgânico, foram instalados coletores de 1,0 m², sendo cinco em cada seringal e oito em cada fragmento florestal. As amostragens foram feitas de vinte em vinte dias, ao longo de um ano. Os diferentes constituintes (folhas, galhos e material reprodutivo) foram separados, secos em estufa a 60°C e pesados.

Nos quatro sistemas, houve queda de material orgânico formador da serrapilheira ao longo de todo o ano (Figura 1), ocorrendo as quantidades maiores nas matas. A fenologia do material foliar e da soma de todo o material orgânico (galhos, pecíolo e material reprodutivo) seguiu o mesmo padrão (Figura 1). O total aportado foi de 2,1, 2,5, 3,8 e 5,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, nos clones IAN 873 e RRIM 600, nos fragmentos Capoeira 38 e Mata da Fazendinha (Figura 1). Desse total, as folhas foram os constituintes mais representativos, entre 65 e 71 %.

Seqüestro de Carbono

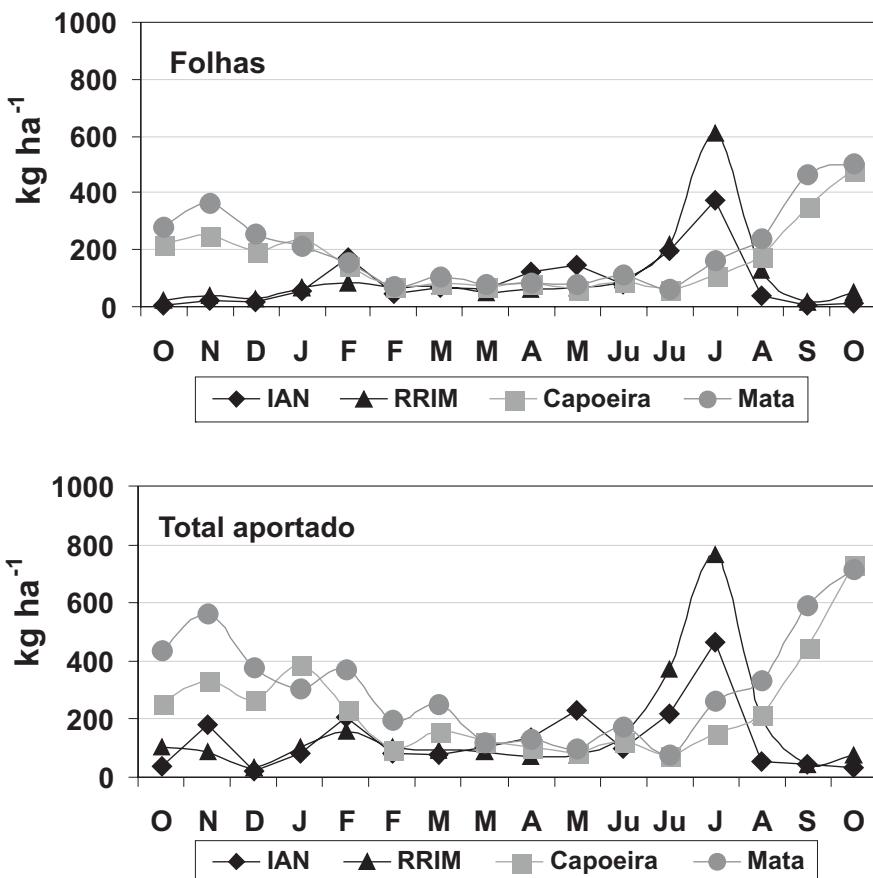


Figura 1 - Fenologia do aporte foliar e do aporte total anuais (folhas + galhos + pecíolo + material reprodutivo) nos seringais (IAN 873 e RRIM 600) e nos fragmentos florestais (Capoeira 38 e Mata da Fazendinha).

Nos seringais, o período de maior queda do material foliar foi entre maio e agosto. Nesses meses, caíram no solo 56 % do total do material aportado ao

longo do ano, evidenciando marcante caducifolia. Nas matas, a maior queda foliar aconteceu entre setembro e janeiro, com a máxima em outubro, decrescendo, gradativamente, entre fevereiro e julho.

Murbach et al. (2003) obtiveram valores de aporte de folhas semelhantes aos deste trabalho em seringais de 13 anos, no Estado de São Paulo ($1,7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). No entanto, esses valores foram bem menores que os observados em plantios de sabiá ($6,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e acácia ($5,8 \text{ a } 6,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (ANDRADE et al., 2000), e guachapele ($10,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (BALIERO et al., 2004). Os valores estimados nos fragmentos foram bem menores que os observados em florestas primária e secundária de Terra Firma, no Pará (DANTAS e PHILLIPSON, 1989), em Rondônia (VILLELA e PROCTOR, 1999), na Mata Atlântica semidecídua de São Paulo (MORELLATO, 1992) e do Espírito Santo (GARAY et al., 2003).

As quantidades de N medida nas folhas do aporte foram, relativamente, semelhante entre as seringueiras e os fragmentos florestais, verificando-se na Capoeira 38 o menor valor, estatisticamente diferente apenas do valor medido no aporte do IAN 873 (Figura 2). As quantidades de P foram maiores nas seringueiras somente em relação à de Capoeira. Já os maiores valores de Ca, Mg e Na e/ou K foram observados no clone RRIM 600 e na Mata da Fazendinha (Figura 2).

Seqüestro de Carbono

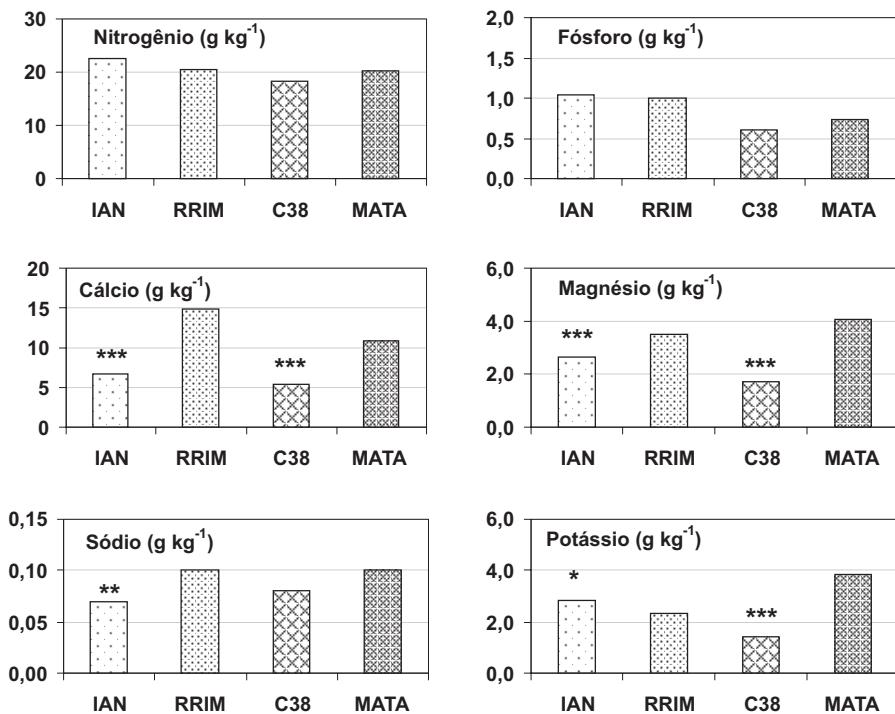


Figura 2 - Quantidade de macronutrientes nas folhas do aporte nos seringais (IAN 873 e RRIM 600) e nos fragmentos florestais (Capoeira 38 e Mata da Fazendinha). Teste t de Student entre os dois clones e entre os dois fragmentos. *: $\alpha = 0,05$; **: $\alpha = 0,01$ e ***: $\alpha = 0,001$.

Murbach et al. (2003), em seringais do clone RRIM 600 no Estado de São Paulo, encontraram quantidades de N ($13,1 \text{ g kg}^{-1}$) e K ($1,1 \text{ g kg}^{-1}$) menores que a deste trabalho, enquanto os valores de Mg ($4,8 \text{ g kg}^{-1}$) e Ca (24 g kg^{-1}) foram maiores e os de P ($0,9 \text{ g kg}^{-1}$) semelhantes.

Horizontes Holorgânicos

Em cada seringal, foram coletadas, aleatoriamente, 12 amostras por estação: outono (maio de 2003), inverno (setembro de 2003), primavera (novembro de 2003) e verão (fevereiro de 2004). Nos fragmentos florestais, essas coletas foram feitas no inverno (setembro de 2003) e no verão (fevereiro de 2004). As coletas do horizonte A, foram feitas no inverno e no verão.

As amostragens foram feitas segundo Kindel et al. (2003) e consistiram na subdivisão dos horizontes holorgânicos (Figura 3), ou serrapilheira, em horizonte L (composto de folhas inteiras), F₁ (composto de folhas fragmentadas), F₂ (composto de folhas fragmentadas e proporções semelhantes de matéria orgânica fina menores que 2 mm) e H (composto basicamente de material orgânico fino menor que 2 mm). Para a coleta utilizou-se um quadrado de 50 cm de lado.

Seqüestro de Carbono

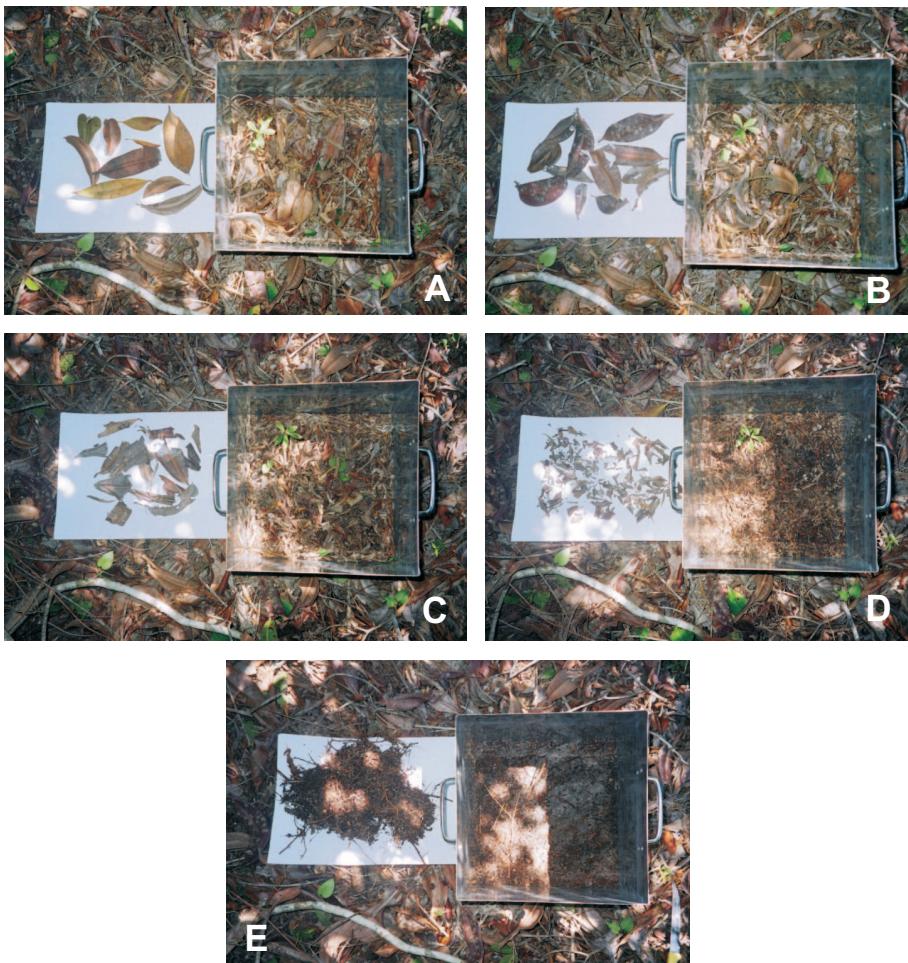


Figura 3 - Horizontes Holorgânicos: (A) horizonte L1, (B) horizonte L2, (C) horizonte F1, (D) fragmentos foliares e (E) matéria orgânica fina (< 2 mm) entremeada a raízes finas, que, dependendo das proporções, constituem o horizonte F2 ou H.

Todas as frações que compõem os distintos horizontes (folhas inteiras, folhas fragmentadas, matéria orgânica fina, raízes, material reprodutivo, pecíolos e galhos) foram separadas, secas a 60°C e pesadas. As análises de macronutrientes do horizonte L foram feitas segundo métodos desenvolvidos na Embrapa Solos (CARMO et al., 2000b). A estimativa da porcentagem de matéria orgânica e a relação C/N do horizonte L foram calculadas como em Kindel et al. (2003). Para as folhas inteiras do horizonte L, calculou-se também o peso específico foliar (PEF), considerando um índice de esclerofilia (GARAY e RIZZINI, 2003). O cálculo do coeficiente de decomposição K foi feito por $K = I/X$, em que I corresponde ao aporte anual de matéria orgânica e X é o acúmulo de matéria orgânica sobre o solo mineral (OLSON, 1963).

Observou-se maior estoque de serrapilheira no clone RRIM 600 que no IAN 873; essa diferença chegou a ser de quase uma tonelada por hectare no verão (Figura 4). No clone RRIM 600, verificou-se certa estabilidade no estoque acumulado entre as quatro estações de coleta. Nos fragmentos florestais, a Mata da Fazendinha apresentou, em ambas as estações, 2,8 Mg ha⁻¹ a mais de serrapilheira que a Capoeira 38 (Figura 4). O maior acúmulo observado na mata decorreu de maiores estoques do horizonte F_1 , somados à presença do horizonte F_2 , que contribuiu sozinho com 40% do total acumulado.

Seqüestro de Carbono

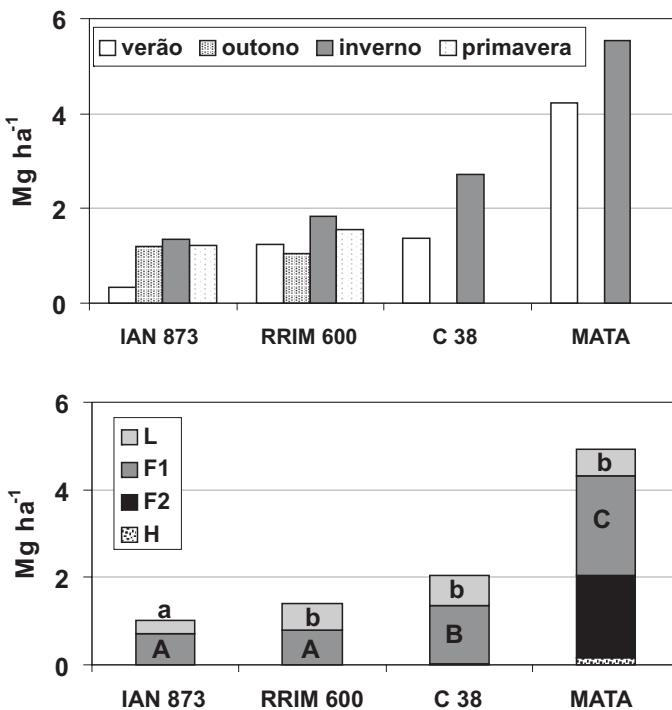


Figura 4 - Estoque de matéria orgânica total da serrapilheira por estação (A) e média anual por horizonte (L, F₁, F₂ e H) (B) nos seringais (IAN 873 e RRIM 600) e nos fragmentos florestais (Capoeira 38 e Mata da Fazendinha).

Teste t de *Student* entre as áreas. a < 0,05: letras distintas indicam diferença.

Os clones apresentaram, em média, estoques totais de serrapilheira significativamente menores que os dos fragmentos florestais: 1,0 Mg ha⁻¹ e 1,4 Mg ha⁻¹, respectivamente, no IAN 873 e no RRIM 600; e 2,1 Mg ha⁻¹ e 4,9 Mg ha⁻¹, respectivamente, na Capoeira 38 e na Mata da Fazendinha (Figura 3). A

quantidade de raízes finas acompanhou o acúmulo de matéria orgânica observado na Mata da Fazendinha (29 g m^{-2}), na Capoeira 38 ($1,3 \text{ g m}^{-2}$) e nos clones ($0,02 \text{ g m}^{-2}$); onde quase não foram encontradas raízes entremeadas à serrapilheira (Figura 5).

Uma diferenciação morfológica maior dos horizontes holorgânicos, isto é, apresentando a seqüência L-F-H sobre o horizonte A, é resultado de decomposição mais lenta, ao contrário da seqüência L-A, em que a decomposição é mais rápida (BABEL, 1975; GREEN et al., 1993; BRETHES et al., 1995). Esses dados indicam que a dinâmica da decomposição foi bem diferente nas áreas de estudo, sendo mais rápida nos seringais que nos fragmentos de floresta.

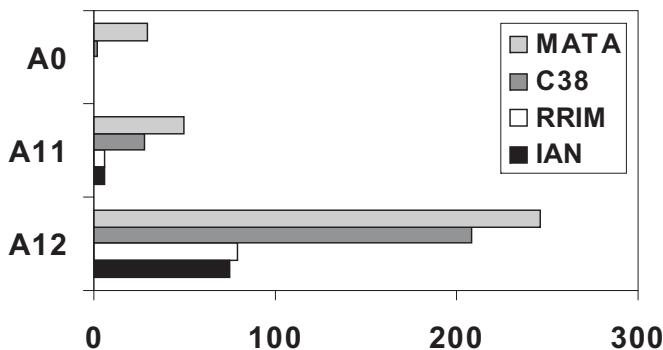


Figura 5 - Quantidades de raízes finas encontradas nos horizontes holorgânicos (A0) e no horizonte A₁₁, nos seringais (IAN 873 e RRIM 600) e nos fragmentos florestais (Capoeira 38 e Mata da Fazendinha).

Os estoques de matéria orgânica dos horizontes holorgânicos observados nos clones de seringueira foram menores que os verificados em culturas agroflorestais de acácia (8,7 a 13,6 Mg ha⁻¹), eucalipto (5 Mg ha⁻¹) e sabiá (8,3 Mg ha⁻¹), em plantações de café (3,3 a 6,5 Mg ha⁻¹) e em plantios de espécies arbóreas da Mata Atlântica de Tabuleiros (3,4 a 17,7 Mg ha⁻¹) (ANDRADE et al., 2000; GAMA-RODRIGUES et al., 1999; GARAY et al., 2003 e 2004; PELLENS e GARAY, 1999). Porém, os estoques observados na Mata da Fazendinha foram semelhantes aos observados por Kindel et al. (1999) na Mata Atlântica de Tabuleiros; aquele verificado na Capoeira 38 foi duas a três vezes menor (KINDEL et al., 1999; KINDEL e GARAY, 2001). Já na Mata Atlântica da Floresta da Tijuca (Rio de Janeiro, RJ), foram observados 17 Mg ha⁻¹ (KINDEL e GARAY, 2002). Morellato (1992) encontrou, na Mata Atlântica do Estado de São Paulo, 5,5 Mg ha⁻¹ de serrapilheira.

O coeficiente de decomposição k foi maior nos seringais (IAN 873: 1,39 ano⁻¹, e RRIN 600: 1,20 ano⁻¹) e na Capoeira (1,32 ano⁻¹) que na mata (0,66 ano⁻¹), confirmando que, nesta última, a decomposição é mais lenta.

O teor dos macronutrientes foi maior nas folhas do horizonte L do RRIM 600 que nas do IAN 873, principalmente o cálcio, que foi quase o dobro (Tabela 1). O cálcio é o elemento de maior concentração nas folhas, seguido pelo nitrogênio, magnésio, potássio, fósforo e sódio. Quanto ao valor da relação C/N e de fósforo, não foram observadas diferenças entre os clones.

O teor de nitrogênio do horizonte L do clone RRIM 600 foi semelhante ao de acácia e maior que o de eucaliptos (KINDEL et al., 2003, 2004). Os valores deste estudo para N, Ca, Mg estão dentro do limite do observado em plantios de espécies nativas na Bahia, no entanto, estão abaixo para K e acima para P (GAMA-RODRIGUES et al., 1999). Contudo, esses autores parecem ter analisado a serrapilheira com todos os seus constituintes (folhas, galhos etc.).

Seqüestro de Carbono

TABELA 1 - Média da concentração e do estoque de macronutrientes do horizonte L nos seringais (IAN 873 e RRIM 600) e nos fragmentos florestais (capoeira 38 e mata da fazendinha). Significância pelo teste t de student. O: não-significativo e o: A > 0,05; * : A = 0,05; ** : A = 0,01 e *** : A = 0,001

	N	P	Ca	Mg	K	Na
Concentração (g kg^{-1})						
IAN	15,8	0,57	7,57	1,89	0,68	0,05
RRIM	14,5	0,56	16,25	2,86	0,86	0,10
teste t	*	o	***	***	**	***
C38	13,5	0,43	6,15	1,49	0,76	0,07
MATA	17,4	0,60	9,37	2,7	2,05	0,16
teste t	***	***	***	***	***	**
Estoque (kg ha^{-1})						
IAN	18,8	0,69	9,12	2,26	0,81	0,06
RRIM	25,2	0,98	28,27	4,95	1,53	0,18
teste t	***	***	***	***	***	***
C38	32,6	1,05	14,9	3,65	1,78	0,16
MATA	131,7	4,42	69,4	20,4	15,1	1,10
teste t	***	***	***	***	***	***

Seqüestro de Carbono

O teor dos macronutrientes foi, significativamente, maior na Mata da Fazendinha do que na Capoeira 38 (Tabela 1). A relação C/N foi menor na Mata da Fazendinha do que na Capoeira 38, já o peso específico foliar (PEF) foi semelhante (Figura 6). Na Mata da Fazendinha, os valores de Ca estavam abaixo dos observados por Gama-Rodrigues et al. (1999) em floresta natural e capoeira de 40 anos na Mata Atlântica de Tabuleiros, na Bahia, e acima em relação a Mg, K, N e P.

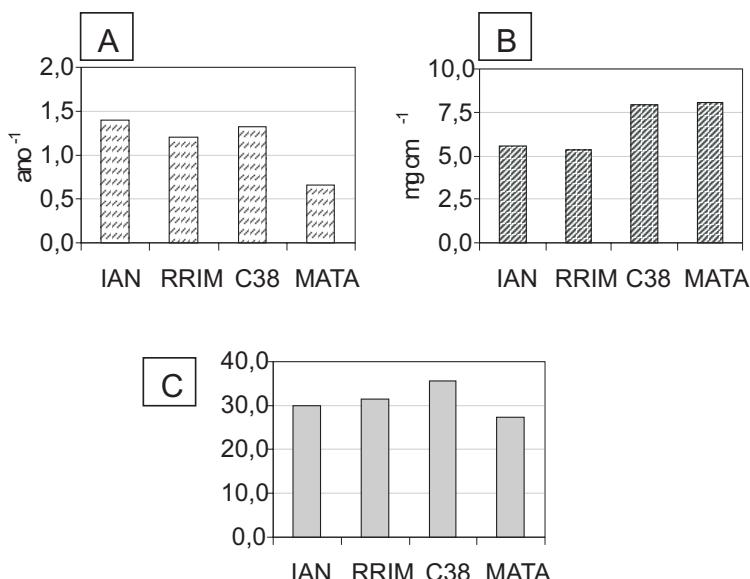


Figura 6 - Coeficiente de decomposição k (A), peso específico foliar (B) e relação C/N (C) do horizonte L nos seringais (IAN 873 e RRIM 600) e nos fragmentos florestais (Capoeira 38 e Mata da Fazendinha).

Os valores da relação C/N e do PEF da Mata da Fazendinha foram semelhantes aos observados na Mata de Tabuleiros na Bahia e no Espírito Santo (GAMA-RODRIGUES et al., 1999; KINDEL et al., 1999). Da mesma

forma, na Capoeira 38, observaram-se valores de C/N e de PEF semelhantes aos da capoeira de 40 anos da Bahia e do Espírito Santo (GAMA-RODRIGUES et al., 1999; KINDEL e GARAY, 2001).

Os estoques acumulados nos horizontes holorgânicos dos seringais seguiram a tendência observada para a análise dos teores de nutrientes das folhas do horizonte L, ou seja, a quantidade de nutrientes foi significativamente maior no RRIM 600 que no IAN 873 (Tabela 1). Mesmo o P, cujo teor não diferiu entre os clones, apresentou, em relação ao estoque, maiores valores no RRIM 600.

Esses estoques foram bem menores que os observados por Andrade et al. (2000) em plantios de sabiá, *A. mangium* e *A. holosericia*, e também em plantios de espécies nativas da Mata de Tabuleiros (GAMA-RODRIGUES et al., 1999), porém dentro do limite do observado por Lugo et al. (1990) em plantios arbóreos da Costa Rica. O pequeno estoque de nutrientes nos seringais resulta, na verdade, da baixa produtividade e do consequente pequeno acúmulo de matéria orgânica na serrapilheira.

Da mesma forma, devido ao maior acúmulo de serrapilheira na Mata da Fazendinha, somado ao maior teor de nutrientes, foram estimados, para essa mata estoques de nutrientes que foram de quatro a oito vezes maiores do que os da Capoeira 38. Em comparação aos valores encontrados na capoeira de 40 anos, estudada por Gama-Rodrigues et al. (1999), os estoques da Mata da Fazendinha foram menores em Ca e maiores nos demais macronutrientes. Quando comparados com os estoques da floresta natural da Bahia, os valores de N foram menores.

Horizontes Hemiorgânicos

As amostragens dos horizontes hemiorgânicos foram feitas segundo Kindel et al. (2003 e consistiram na subdivisão dos horizontes hemiorgânicos (figura 7), ou horizonte A₁₁ em horizonte A₁₁ (correspondente aos 10 primeiros 2 ou 3 cm do horizonte A) e horizonte A₁₂ (correspondente aos 10 cm subseqüentes ao horizonte A₁₁). Dando continuidade à mostragem dos horizontes holorgânicos, no mesmo ponto, fé-se a coleta dos horizontes hemiorgânicos por meio de um quadrado de 25 cm de lado para o horizonte A₁₁ e com um cilindro de 7,98 cm de diâmetro e 10 cm de altura para o horizonte A₁₂. As amostras dos horizontes hemiorgânicos foram secas ao ar e peneiradas no laboratório. Os horizontes A₁₁ e A₁₂ (Figura 7) foram analisados quanto ao conteúdo de carbono e nitrogênio e à fertilidade (bases trocáveis, H⁺ a Al³⁺ e pH), segundo Embrapa (1997).

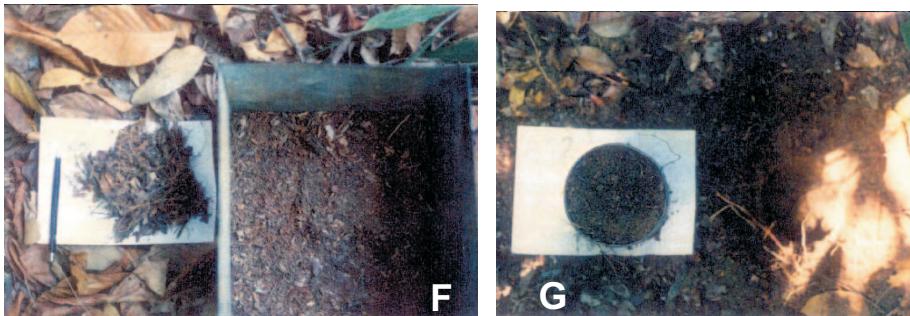


Figura 7 - Horizontes Hemiorgânicos: (F) A₁₁ e (G) horizonte A₁₂

A análise química dos horizontes hemiorgânicos evidenciou maior conteúdo de carbono e maior concentração de nutrientes no horizonte A₁₁ do que no horizonte A₁₂ (Tabela 2). No entanto, a diferença entre o horizonte A₁₁ e A₁₂, nos plantios, não foi tão acentuada como nas matas.

A comparação da fertilidade dos dois clones de seringueira evidenciou maior quantidade de N, Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo do RRIM 600 em ambos os horizontes, A₁₁ e A₁₂ (Tabela 2). Também aí foram encontrados os maiores valores de soma de bases, de porcentagem de saturação em bases e de pH. Já maiores quantidades de P foram observadas no solo do IAN 873.

A base mais importante nos horizontes hemiorgânicos foi o cálcio, seguido do magnésio, do potássio e do sódio. O teor de carbono foi maior no horizonte A₁₁ do RRIM 600 que no IAN 873 (Tabela 2). O alumínio apresentou maiores concentrações no solo do IAN 873.

De modo geral, os dados da análise do horizonte hemiorgânico estão de acordo com os da análise química da serrapilheira e do aporte foliar, que também apresentaram maiores quantidades de nutrientes e matéria orgânica no RRIM 600 do que no IAN 873 (Figura 2, Tabela 2). A fertilidade do solo dos clones IAN 873 e RRIM 600 está, portanto, relacionada com a qualidade nutricional do folhiço.

Seqüestro de Carbono

Tabela 2 - Média do carbono, nitrogênio e fertilidade dos horizontes hemiorgânicos A11 e A12 nos seringais (IAN 873 e RRIM 600) e nos fragmentos florestais (capoeira 38 e mata da fazendinha). S: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ ; T: capacidade de troca catiônica; V: porcentagem de saturação em bases. n = 12. Significância pelo teste t de Student; o: não-significativo e o: $\alpha > 0,05$; * : $\alpha = 0,05$; ** : $\alpha = 0,01$ e *** : $\alpha = 0,001$.

	C g kg ⁻¹	N	C/N	P mg kg ⁻¹	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2+} cmol _c kg ⁻¹	K^+	Na^+	S	T	V	pH
IAN 873													
A ₁₁	16	1,5	10	8,9	0,5	1,0	0,5	0,2	0	1,7	7,7	21	4,6
A ₁₂	12	1,4	9	5,1	1,2	0,1	0,2	0,1	0	0,4	7,0	6	4,1
RRIM 600													
A ₁₁	18	2,0	10	4,7	0,1	3,4	1,0	0,2	0	4,6	8,4	55	5,4
A ₁₂	12	1,5	8	2,4	0,5	1,6	0,6	0,1	0	2,2	7,3	30	4,8
<i>Teste t entre os seringais</i>													
A ₁₁	*	**	o	***	***	***	***	o	-	***	O	***	***
A ₁₂	o	**	***	o	***	***	***	o	-	***	O	***	o
<i>Capoeira 38</i>													
A ₁₁	30	2,9	11	5,0	0,7	1,2	0,8	0,2	0	2,2	11	20	4,4
A ₁₂	16	1,8	9	2,1	1,1	0,1	0,3	0,1	0	0,5	8,0	6	4,2
<i>Mata da Fazendinha</i>													
A ₁₁	44	4,7	9	9,3	0,4	4,4	2,0	0,4	0	6,8	14	45	5,0
A ₁₂	17	2,1	8	3,7	0,7	1,5	0,9	0,2	0	2,5	8,7	28	4,6
<i>Teste t entre os fragmentos</i>													
A ₁₁	***	***	**	*	*	***	***	***	-	***	***	**	**
A ₁₂	o	**	***	***	*	***	**	**	-	***	O	***	*

O RRIM 600 se destacou como um clone que contribui com maior quantidade de matéria orgânica e de nutrientes, evidenciando sua superioridade em reconstituir a riqueza nutricional do solo.

Os seringais apresentaram estoques de serrapilheira bem menores que outras monoculturas e sistemas florestais. Talvez uma alternativa viável para projetos de recuperação de áreas degradadas, de modo a incrementar a entrada de matéria orgânica no solo, seja a consociação com outras culturas de ciclo curto, perenes e agroflorestais, como sugerido por Pereira et al. (1997).

A Mata da Fazendinha apresentou no horizonte A₁₁ 30% a mais de C que a Capoeira 38 (tabela 2). Da mesma forma, essa área apresentou valores significativamente maiores de N, P e dos demais parâmetros edáficos (S, T, V% e pH). Na Capoeira 38, observaram-se apenas quantidades de Al³⁺ mais elevadas.

O teor de carbono e a fertilidade do solo nos fragmentos estão, igualmente, relacionados com o estoque de folhiço e sua qualidade nutricional, sendo maior na Mata da Fazendinha.

No horizonte A₁₁ da Capoeira 38 e da Mata da Fazendinha, os teores de C, N e a fertilidade foram, de modo geral, menores que os observados nas capoeiras de Mata Atlântica de tabuleiros; no horizonte A₁₂, a diferença entre as regiões foi atenuada (KINDEL et al., 1999; KINDEL e GARAY, 2001).

Na Capoeira 38, apesar da baixa riqueza nutricional do folhiço e solo, da maior relação C/N do horizonte L em relação à da Mata da Fazendinha, o acúmulo nos horizontes holorgânicos foi menor. Nesse caso, o menor acúmulo pode ser explicado pela estrutura e composição florística da capoeira, que apresentou menor freqüência de indivíduos, área basal e diversidade, como descrito por Lima et al., em capítulo anterior, e pela declividade da encosta, onde o vento, as concavidades no solo e a chuva são fatores atuantes no

transporte da serrapilheira, redistribuindo-a seletivamente no solo florestal ou evacuando-a pela bacia de drenagem (VAN ZON, 1980).

O menor acúmulo de serrapilheira, a ausência do horizonte F_2 e o alto coeficiente de decomposição k indicam maior velocidade de decomposição na capoeira do que na mata, apesar da alta relação C/N indicar menor qualidade foliar. A composição florística, a estrutura da vegetação e o relevo da Capoeira 38 refletem no seu funcionamento, alterando o subsistema decompositor da capoeira em relação à mata secundária, mais adiantada no estado sucessional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A.G.; COSTA, G.S.; FARIA, S.M. Deposição e decomposição da serrapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpiniifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em planossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 777-785, out.-dez. 2000.
- BABEL, U. Micromorphology of soil organic matter. In: GIESEKING, J.E. (ed.). **Soil components**. New York: Springer, 1975. v. 1, p. 369-473.
- BALIEIRO, F.C. et al. Dinâmica da serrapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, D.F., v. 39, n. 6, p. 597-601, jun. 2004.
- BATAGLIA, O.C. et al. Efeito da adubação NPK sobre o período de imaturidade da seringueira. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 2, p. 363-374, jul.-dez. 1999.
- BATAGLIA, O.C. et al. Resposta da seringueira clone RRIM 600 à adubação NPK em solo Podzólico Vermelho-amarelo. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 2, p. 367-377, jul.-dez. 1998.

Seqüestro de Carbono _____

BATAGLIA, O.C.; CARDOSO, M.; CARRETERO, M.V. Situação nutricional de seringais produtivos no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 47, n. 1, p. 109-123, jan.-jun. 1988.

BRÊTHES, A. et al. Classification of forest humus forms: a French proposal. **Annales des Sciences Forestières**, Paris, v. 52, p. 535-546, 1995.

CARMO, C.A.F.S. et al. **Aspectos culturais e zoneamento da seringueira no Estado do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 49 p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento; n. 60)

CARMO, C.A.F.S. et al. **Influencia de atributos químicos e físicos do solo no desenvolvimento da seringueira na região da Zona da Mata de Minas Gerais.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000a. 23p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa; n. 10)

CARMO, C.A.F.S. et al. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000b. 41 p. (Embrapa Solos. Circular técnica; n. 6)

DANTAS, M.; PHILLIPSON, J. Litterfall and nutrient content in primary and secondary Amazonian 'terra firme' rain forest. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 5, p. 27-36, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; MENDONÇA, E.S. Alterações edáficas sob plantios puros e misto de espécies florestais nativas do sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 581-592, jul.-set. 1999.

Seqüestro de Carbono _____

GARAY, I. et al. Comparação da matéria orgânica e outros atributos do solo entre plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 705-712, Agosto 2003.

GARAY, I. et al. Evaluation of soil conditions in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in Brazil: a contribution to the study of sustainable land use. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 27, n. 2, p. 177-187, Outubro 2004.

GARAY, I.; RIZZINI, M. Esclerofilia foliar como indicador funcional do status da biodiversidade em Floresta Amazônica de Tabuleiro. In: GARAY, I.; RIZZINI, M. (orgs.). **A Floresta Atlântica de Tabuleiros: diversidade funcional da cobertura arbórea**. Petrópolis: Vozes, 2003. p. 35-56.

GREEN, R.N.; TROWBRIDGE, R.L.; KLINKA, K. Towards a taxonomic classification of humus forms. **Forest Science Monograph**, Washington, D.C., v. 29, p. 1-48, 1993.

KINDEL, A. et al. Efeito do extrativismo seletivo de espécies arbóreas da Floresta Atlântica de Tabuleiros na matéria orgânica e outros atributos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 465-474, abr.-jun. 1999.

KINDEL, A. et al. **Quantificação dos horizontes húmicos e dinâmica da decomposição de material foliar em solos florestais:** contribuição ao estudo de seqüestro de carbono. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 8 p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico; n. 21)

KINDEL, A.; GARAY, I. Caracterização de ecossistemas da Floresta Atlântica de Tabuleiros por meio das formas de húmus. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 551-563, jul. a set. 2001.

Seqüestro de Carbono

LUGO, A.E.; CUEVAS, E.; SÁNCHEZ, M.J. Nutrients and mass in litter and top soil of ten tropical tree plantations. **Plant and Soil**, Dordrecht, Neth., v. 125, n. 2, p. 263-280, July 1990.

MORELLATO, L.P. Nutrient cycling in two South-east Brazilian forests. I: Litterfall and litter standing crop. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 8, p. 205-215, 1992.

MURBACH, M.R. et al. Nutrient cycling in a RRIM 600 clone rubber plantation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 353-357, abr.-jun. 2003.

OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, Durnham, v. 44, n. 2, p. 322-331, Spring 1963.

PELLENS, R.; GARAY, I. A comunidade de macroartrópodos edáficos em uma plantação de *Coffea robusta* Linden (Rubiaceae) e em uma floresta primária em Linhares, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 245-258, mar. 1999.

PEREIRA, A.V. et al. **Seringueira em sistemas agroflorestais**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1997. 45 p. (Embrapa Cerrados. Documentos; n. 63)

VAN ZON, H.J.M. The transport of leaves and sediments over a forest floor - a case study in the Grand Duchy of Luxemburgo. **Catena**, Amsterdam, v. 7, p. 97-110, 1980.

VIÉGAS, I.J.M.; CARVALHO, J.G.; FRAZÃO, D.A.C. Desordens nutricionais na cultura da seringueira: critérios de diagnose para solo e plantas e correção de deficiência. In: VIÉGAS, I.J.M.; CARVALHO, J.G. **Seringueiras: nutrição e adubação no Brasil**. Brasília, D.F.: Embrapa, Comunicação para Transferência de Tecnologia; Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p. 123-174.

Seqüestro de Carbono _____

VILLELA, D.M.; PROCTOR, J. Litterfall mass, chemistry, and nutrients retranslocation in a monodominant Forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. **Biotropica**, Washington, D.C., v. 31, n. 2, p. 198-211, June 1999.

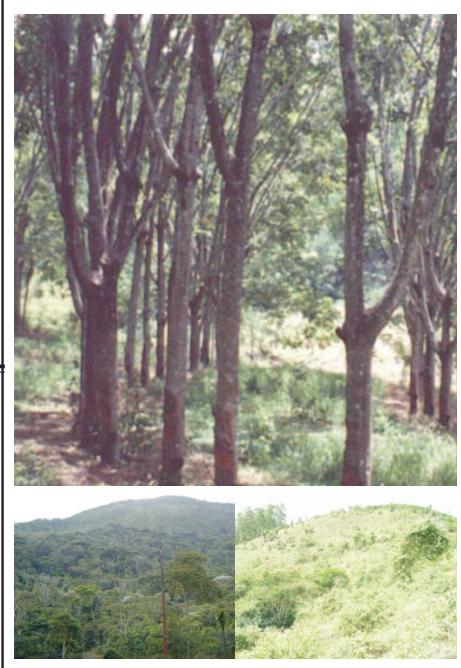
Capítulo 7

Luciana da Conceição Rios¹

Mauro da Conceição¹

Daniel Vidal Pérez¹

Wilson Sant'anna de Araújo¹



ESTOQUE DE CARBONO E CARACTERIZAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM SOLOS SOB SERINGAIS CULTIVADOS E VEGETAÇÃO NATURAL

¹ Pesquisadores da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. CEP 22460-000, Rio de Janeiro, RJ. e-mails: luciana_rios@ig.com.br; mauro@cnps.embrapa.br daniel@cnps.embrapa.br, wilson@cnps.embrapa.br

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) é resultante principalmente da deposição de resíduos de origem animal e vegetal. Esses resíduos, ao serem depositados, sofrem, inicialmente decomposição parcial pela mesofauna e, posteriormente, pela ação decompositora dos microorganismos. Parte do carbono presente nos resíduos é liberado para a atmosfera como CO₂, e o restante passa a fazer parte da matéria orgânica como um componente do solo (BAYER e MIELNICZUK, citados por Santos e Camargo, 1999). Por essas razões, a matéria orgânica tem grande importância para o fornecimento de nutrientes às culturas, a retenção de cátions, a complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, a estabilidade da estrutura, a infiltração e retenção de água, a aeração, a atividade e biomassa microbiana (*ibid.*).

A matéria orgânica é responsável pela sustentabilidade de muitos agroecossistemas porque torna o solo resistente e elástico. É, portanto, o componente chave de qualquer ecossistema terrestre, e qualquer alteração na sua quantidade e composição produz importantes efeitos na dinâmica de armazenamento de carbono.

O conhecimento dos teores da matéria orgânica e sua dinâmica nos diferentes processos naturais tem sido objeto de muitos estudos, uma vez que há enorme preocupação dos cientistas no que se refere à atenuação dos efeitos negativos do efeito estufa sobre os processos naturais do globo terrestre.

A matéria orgânica do solo tem sido reconhecida como uma importante fonte de imersão no ciclo do carbono global, em razão de os solos conterem cerca de três vezes mais carbono que a atmosfera. O balanço entre a adição e perda de carbono no solo tem uma severa influência sobre a concentração de CO₂ atmosférico e possivelmente no clima global (POST et al., 1990, citados por Conceição et al., 2001).

Um dos maiores compartimentos terrestres de carbono está na matéria orgânica, bem como uma das principais fontes de emissão de CO₂, CH₄ e outros GEE para a atmosfera (SILVA et al., 2000). Dependendo do tipo de manejo adotado, o solo também pode funcionar como fonte de emissão ou como sumidouro de carbono extra. De modo geral, há maior preservação da matéria orgânica em áreas sob vegetação natural, havendo perdas consideráveis de carbono quando são convertidas em áreas de cultivo, principalmente nos locais onde há revolvimento freqüente do solo. Estudos têm demonstrado que práticas de manejo conservacionistas (PMC) têm grande potencial em aumentar o seqüestro de carbono no solo e diminuir o fluxo de GEE para a atmosfera. Entre essas práticas, podem-se citar a diminuição do desmatamento, o aumento de áreas cultivadas sob sistema de plantio direto, o incremento no aporte de carbono ao solo, a permanência de restos culturais nas áreas de plantio, o controle da erosão, os reflorestamentos, as culturas perenes e o aumento dos índices de produtividade como fator restritivo à expansão da fronteira agrícola.

Os fragmentos orgânicos de uma floresta, ao caírem sobre o solo, formam a serrapilheira, considerada o principal agente responsável pela ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais tropicais (SWAMY et al., 1994). Por sua vez, a formação da serrapilheira depende do aporte de resíduos orgânicos da parte aérea das plantas e da taxa de decomposição desses materiais (VITOUSEK et al., 1986). Assim, para uma análise comparativa do seqüestro de carbono, torna-se necessário quantificar a produção de serrapilheira, o seu teor de nutrientes, sua composição orgânica e a velocidade de decomposição relativa em dada condição edafoclimática, ao longo do tempo, já que, para Galston et al. (1972), a senescênciade partes da planta é função das mudanças metabólicas associadas à fisiologia de cada espécie e de estímulos provenientes do ambiente, como o fotoperíodo, a temperatura, o estresse hídrico, etc.

A seringueira é uma espécie de hábito decíduo, isto é apresenta senescência e renovação foliar anual, cujos fragmentos vegetais ao cair no solo formam uma camada espessa de serrapilheira que se acumula nos horizontes superficiais do solo, ano após ano. Este trabalho avalia a contribuição desta camada, na qualidade da matéria orgânica do solo.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A MATÉRIA ORGÂNICA

As condições ambientais são fatores que determinam a marcha de mineralização da matéria orgânica do solo, exercendo sua influência de maneira decisiva sobre os produtos formados através da primeira fase dessa transformação, fase esta que constitui a etapa de humificação (DOROFEEFF, 1960). Todos os produtos transformados são chamados de húmus.

Kononova (1966), citado por Conceição (1989), diz que a matéria orgânica do solo é um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diferentes naturezas e pela contínua transformação que sofre sob ação dos fatores biológicos, químicos e físicos.

Por definição de Tibau (1978), o húmus é formado por agrupamento de compostos orgânicos de mistura com minerais e sais, ou seja, os compostos inorgânicos em proporções indefinidas, quando se trata apenas de mistura. Na presença, entretanto, do ácido húmico e seus congêneres (ácido lignoúmico, ácido humoligno, etc.), entra em jogo a lei das proporções definidas, regulando as combinações com cátions do solo (cálcio, potássio, magnésio, etc.).

Segundo Cheng (1976), o húmus se constitui de substâncias amorfas, ácidas, poliméricas, tridimensionais, de peso molecular elevado e de natureza aromática, sendo os ácidos fúlvicos, os ácidos húmicos e as huminas seus principais componentes.

Algumas características físicas e químicas fazem parte das substâncias húmicas, um importante constituinte do solo: cor, estrutura característica, peso por volume, propriedades de coesão e adesão, peso específico, capacidade de retenção de água, permeabilidade, capacidade de troca catiônica, poder de tamponamento e odor específico (WAKSMAN, 1936).

Processo de formação da matéria orgânica

Segundo Flraig et al. (1975), a formação da matéria orgânica ocorre principalmente sob condições aeróbicas. Animais que vivem no solo podem inicialmente reduzir o tamanho dos resíduos orgânicos frescos, e transformações posteriores são promovidas por enzimas extracelulares de bactérias e fungos que habitam o solo, formados tanto de constituintes mais complexos de plantas e animais quanto de substâncias simples, bem como de compostos ou elementos simples a compostos mais complexos.



Esquema da evolução da matéria orgânica nos solos (MOS). HR: humina residual; HI: humina de insolubilização; HM: humina de neo-síntese microbiana (JACQUIN, 1980, citado por Santos e Camargo, 1999).

Classificação e caracterização das frações húmicas

Distintos grupos de compostos são obtidos com diferentes formas de fracionamento do húmus.

Kononova (1966), citado por Conceição (1989), propõe a classificação dos compostos orgânicos em dois grupos:

1ºgrupo: resíduos de plantas e de animal fresco e incompletamente decomposto são fontes primárias de húmus, podendo ser separados por métodos mecânicos (peneiramento ou agrupamento de resíduos, isolamento por meios de líquidos de densidades diferentes, dispersão ultra-sônica, etc.).

2ºgrupo: húmus do solo, incluindo dois subgrupos:

- a) substâncias húmicas: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, huminas e ácidos hematomelânicos;
- b) produtos diversos da decomposição avançada de resíduos orgânicos e também produtos de ressíntese microbiana (substância de natureza protéica, carboidratos e seus derivados, ceras, resinas, gorduras, taninos, ligninas, etc.).

Essas substâncias são parte integrante do solo e não podem ser separadas por métodos mecânicos.

De acordo com Duchaufor (1982), citado por Benites et al. (2003), os ácidos fúlvicos são os compostos húmicos de maior solubilidade por apresentar maior polaridade e menor tamanho molecular; são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions dentro do solo, por meio de complexos organometálicos, o que caracteriza o processo de queluviação. Os ácidos húmicos apresentam pouca solubilidade em solos ácidos; são responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais do solo. A humina consiste em um aglomerado de materiais húmicos e não-húmicos (*ibid.*). Apesar de apresentar baixa reatividade, é responsável por mecanismos

Seqüestro de Carbono

de agregação de partículas e, na maioria dos solos tropicais, representa a maior parte do carbono humificado do solo.

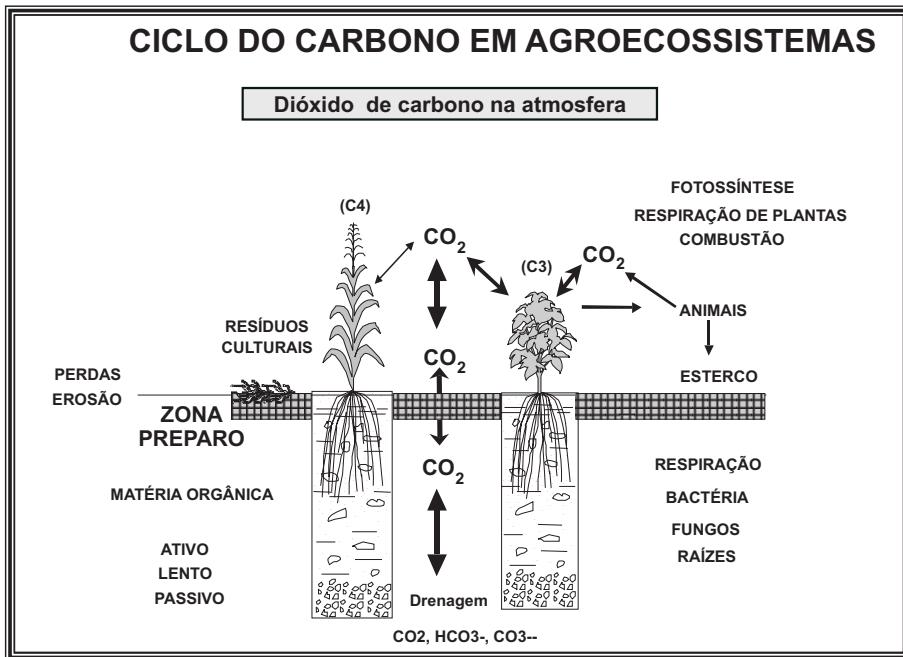
O solo como reservatório de carbono

Bruce et al. (1999), citado por Amado (2003), relatam que o carbono é um importante elemento da constituição dos seres vivos e que se encontra distribuído na natureza em vários reservatórios, sendo os principais os oceanos, a atmosfera, a biosfera e o solo.

O solo é considerado o maior reservatório terrestre de C, e pode ser uma fonte ou um depósito de CO₂ para a atmosfera, dependendo do sistema de manejo adotado (BAYER et al., 2001). As plantas, através da fotossíntese, são o elo entre o carbono que se encontra na atmosfera e o do solo, na forma de matéria orgânica. Dependendo das práticas agrícolas que são utilizadas, o solo age como um dreno ou como uma fonte de CO₂ para a atmosfera (AMADO, 2003).

Segundo Lal (1999), citado por Silva e Machado (2000), a magnitude e a taxa de diminuição de C do solo é aumentada pela degradação e pelo declínio da qualidade do solo. Entre os principais processos de degradação do solo, citam-se a física e a biológica. Há, todavia, uma grande necessidade em reverter esses processos de degradação e, ao mesmo tempo, aumentar o seqüestro de C no solo. Para isso, devem-se manejá-lo adequadamente os solos, corrigir os problemas de acidez e aplicar fertilizantes de forma correta. Com isso, há sempre ganho em produtividade das culturas.

Seqüestro de Carbono



Esquema do ciclo do carbono em agroecossistemas
(REICOSKY, 1998, citado por Amado, 2003).

Emissões de CO₂ associadas ao preparo do solo

Um dos processos-chave para a adição de carbono ao solo é a fotossíntese, na qual o CO₂ é combinado com água, utilizando a energia solar para formar carboidratos. O carbono acumulado nas plantas é ciclado no ecossistema terrestre e uma parte é armazenada temporariamente no solo, na forma de MO, da qual é o principal constituinte com 58% (REICOSKY, 1999, citado por Amado, 2003).

As atividades de preparo podem estimular a mineralização da matéria orgânica e a liberação do CO₂ que se encontrava nos poros, reduzindo a permanência do carbono no solo (BRUCE et al., 1999; REICOSKY e LINDNSTOM, 1993, citados por Amado, 2003). Clima, vegetação, topografia e tipo de solo condicionam o tamanho do estoque de carbono armazenado no solo.

Segundo Silva e Machado (2000), há maior preservação da matéria orgânica, de modo geral, em áreas sob vegetação natural, havendo perdas consideráveis de carbono quando essas são convertidas em área de cultivo. No caso de plantios de seringueiras, principalmente em áreas acidentadas, não há revolvimento do solo com a muda plantada diretamente na cova, o que permite a manutenção da matéria orgânica do solo.

OBJETIVO

Este estudo foi conduzido com a finalidade de quantificar o efeito do manejo da matéria orgânica e seus componentes – substâncias húmicas – em solo sob cultivo dos clones de seringueira IAN 873 e RRIM 600, com 20 e 15 anos de idade, respectivamente. Uma área de cerca de 35 ha com uma capoeira com 38 anos também fez parte do estudo e serviu como testemunha.

A área está localizada na Fazenda Experimental Vale do Piranga, pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, no município de Oratórios, Minas Gerais. A Fazenda se encontra a, aproximadamente, 20°30' de latitude sul e 43°00' de longitude oeste, sendo a altitude média de 500 m em relação ao nível do mar. As temperaturas médias anuais variam entre a máxima de 21,8°C e a mínima de 19,5°C, enquanto a precipitação média anual é de 1150mm. Apresenta um período mais seco, de

abril a setembro. Segundo a classificação de Köppen (SETZER, 1946), o clima da região varia do tipo Cwa, tropical úmido, a Aw, semi-úmido de verões quentes.

A coleta de solo foi realizada segundo Embrapa (2003). O estudo da matéria orgânica do solo foi realizado por fracionamento químico, uma vez que permite observar as variações qualitativas da matéria orgânica, podendo ser avaliadas através da distribuição do C entre frações separadas quimicamente (DABIN, 1971). Esse fracionamento químico tem sido feito classicamente com base nas características de solubilidade em ácidos e álcalis das frações da matéria orgânica do solo. Três compostos principais são obtidos: humina, ácido fúlvico e ácido húmico. As relações entre a matéria orgânica (C total) e o equilíbrio das frações húmicas influenciam as características do solo, como estrutura, capacidade de troca catiônica e disponibilidade de nutrientes (DABIN, 1982). As alterações no uso do solo também podem alterar esse equilíbrio.

A extração e o fracionamento das substâncias húmicas foram realizados segundo Kononova (1966). Este método baseia-se na extração da matéria orgânica com pirofosfato de sódio e hidróxido de sódio. A base forte é utilizada para promover a solubilização do húmus do solo e o pirofosfato atua como quelante dos metais presentes, aumentando a eficiência das extrações. A extração inicial das amostras com solução de ácido ortofosfórico tem o intuito de separar o material não-humificado do material humificado, através de diferenças na densidade específica, e promover um ataque inicial do material, livrando-o principalmente dos metais retidos eletrostaticamente.

RESULTADOS

Para compreender a possível influência do povoamento de clones diferentes na distribuição das substâncias húmicas do solo, foi realizado um teste de médias (teste t) entre os grupos representados pelos clones IAN 873

Seqüestro de Carbono

e RRIM 600, tendo uma capoeira de 38 anos como testemunha. Em princípio, as avaliações foram realizadas separando-se os horizontes A e B em função dos tipos diferenciados de influência esperados nos processos de humificação que ocorrem em superfície, onde a concentração de microorganismos, nutrientes e oxigênio é maior do que em subsuperfície (STEVENSON, 1994).

As tabelas 1 e 2 apresentam os graus de significância observados para as comparações realizadas nos horizontes A e B, respectivamente .

Tabela 1 - Significâncias obtidas pelo teste t aplicado a dois conjuntos de dados, de variâncias diferentes, no horizonte A

	IAN 873 x RRIM 600	IAN 873 x Capoeira	RRIM 600 x Capoeira
C org.	*	NS	NS
AFLivre	**	**	NS
AFLigado	*	NS	NS
AFTotal	**	NS	NS
AH	NS	NS	NS
Humina	NS	*	NS
SH	*	*	NS
SNH	*	NS	NS

NS – não-significativo; * - 5% ($P < 0,05$); ** - 1% ($P < 0,01$).

Seqüestro de Carbono

Tabela 2 - Significâncias obtidas pelo teste t aplicado a dois conjuntos de dados, de variâncias diferentes, no horizonte B

	IAN 873 x RRIM 600	IAN 873 x Capoeira	RRIM 600 x Capoeira
C org.	NS	*	NS
AFLivre	NS	NS	NS
AFLigado	NS	NS	NS
AFTotal	NS	NS	NS
AH	NS	*	**
Humina	NS	NS	NS
SH	NS	NS	NS
SNH	NS	NS	NS

NS – não-significativo; * - 5% ($P < 0,05$); ** - 1% ($P < 0,01$).

No que diz respeito ao horizonte A, observa-se uma nítida tendência de diferenciação entre os dois clones com respeito à distribuição das substâncias húmicas, notadamente para a concentração de ácidos fulvicos. A Tabela 3 indica que as maiores concentrações foram observadas no clone RRIM 600.

Tabela 3 - Média e desvio-padrão dos grupamentos de manejo para o horizonte A

	IAN 873		RRIM 600		Capoeira	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
C org.	20,0	4,6	27,6	6,0	35,64	16,0
AFLivre	0,84	0,14	1,38	0,26	1,92	0,57
AFLigado	1,97	1,05	3,63	1,46	3,30	2,20
AFTotal	2,81	1,17	5,01	1,42	5,22	2,73
AH	0,77	0,77	1,47	0,71	1,48	1,81
Humina	7,01	1,64	9,20	1,50	11,78	3,83
SH	10,60	3,38	15,68	4,72	18,48	7,66
SNH	9,37	1,75	11,87	2,76	17,16	8,65

Como consequência, a soma das frações húmicas (SH) e das não-húmicas (SNH) também apontou diferenças significativas, indicando que o solo sob o clone RRIM 600 apresenta um estado de humificação maior que aquele sob o clone IAN 873. Assim mesmo, há de se observar que a quantidade de material não-humificado é bem elevada nos dois clones. É interessante observar, também, o maior acúmulo de carbono orgânico e, por conseguinte, de matéria orgânica nas amostras sob o clone RRIM 600. Carmo et al. (2003) observaram que o aporte de carbono derivado do clone RRIM 600 é bem superior ao oriundo do IAN 873 (125,5 contra 105,4 kg.árvore⁻¹, respectivamente), o que pode estar influenciando as diferenças relatadas. Não se pode descartar, contudo, a possível influência de uma constituição química diferente entre as partes vegetais dos dois clones. No que tange à Capoeira, em princípio, os dados obtidos para o clone RRIM 600 são os que mais se aproximam das suas características, já que não se observou diferença significativa entre essas vegetações. Com relação ao IAN 873, aparentemente a maior diferenciação ocorreu em função do menor teor de ácidos fúlvicos livre e de humina obtido no solo sob esse clone, que influenciou, consequentemente, a soma (SH) das substâncias húmicas (Tabela 3). A Figura 1 ilustra bem as diferenças e similaridades discutidas na distribuição hídrica dos solos sob os três tipos de vegetação.

Seqüestro de Carbono

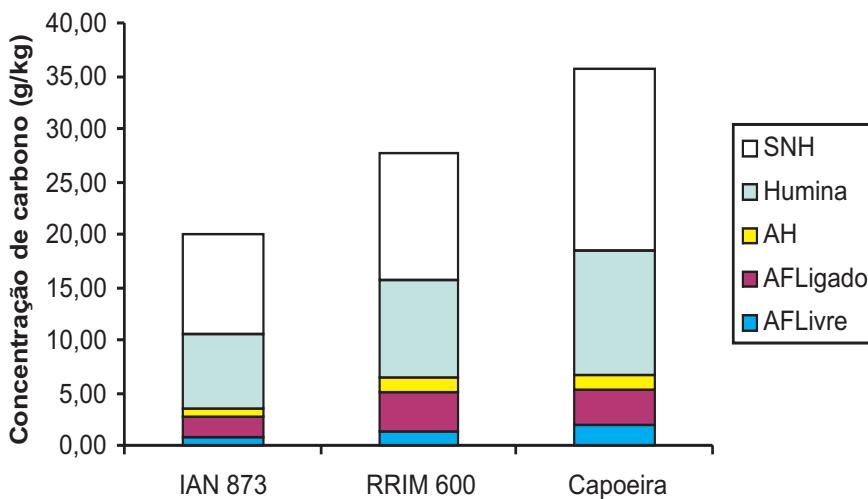


Figura 1 - Distribuição média das frações húmicas obtidas nos horizontes A dos solos sob cultivo dos clones de seringueira IAN 873 e RRIM 600 e a capoeira.

No que diz respeito ao horizonte B, como esperado, observou-se pouca influência do tipo de vegetação sobre as frações estudadas (Tabela 2). Isso, provavelmente, está relacionado ao fato de que, nos horizontes subsuperficiais, os processos e as reações inorgânicas de formação pedológica se sobrepõem à influência da atividade biológica (EMBRAPA, 1999). A única característica química que diferenciou os solos sob cultivo de seringueira dos solos sob capoeira (Tabela 2) foi o teor de ácidos húmicos menor na capoeira (Tabela 4).

Seqüestro de Carbono

Tabela 4 - Média e desvio-padrão dos grupamentos de manejo para o horizonte B

	IAN 873		RRIM 600		Capoeira	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
C org.	7,2	3,1	8,2	3,5	10,8	5,1
AFLivre	0,40	0,20	0,49	0,22	0,56	0,36
AFLigado	0,55	0,28	0,75	0,48	0,60	0,46
AFTotal	0,95	0,47	1,25	0,68	1,16	0,81
AH	0,16	0,26	0,25	0,17	0,10	0,00
Humina	2,22	1,08	2,16	1,17	2,79	1,71
SH	3,34	1,49	3,65	1,79	4,05	2,48
SNH	3,81	1,77	4,54	2,13	6,79	2,95

Além disso, é digno de se observar o menor teor de carbono nos horizontes B do solo sob cultivo do clone IAN 873, quando comparado ao solo sob capoeira. A Figura 2 ilustra os resultados obtidos para a distribuição húmica nos três solos sob as vegetações estudadas.

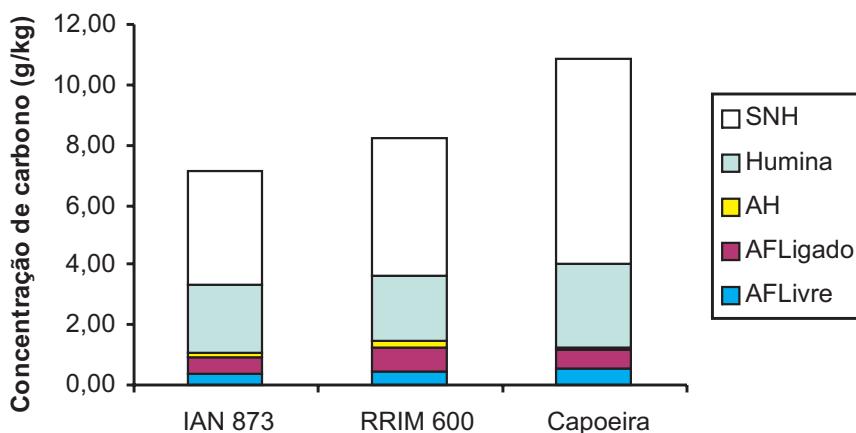


Figura 2 - Distribuição média das frações húmicas obtidas nos horizontes B dos solos sob cultivo dos clones de seringueira IAN 873 e RRIM 600 e a capoeira.

CONCLUSÃO

Os clones de seringueira RRIM 600 e IAN 873 causaram impactos diferenciados na acumulação de matéria orgânica e na distribuição das frações húmicas, principalmente nos horizontes superficiais (A).

O solo sob o clone RRIM 600 apresentou um estado de humificação maior que aquele sob o clone IAN 873, indicando maior acúmulo de carbono orgânico e, por conseguinte, de matéria orgânica.

No que tange à capoeira, em princípio, os dados obtidos para o clone RRIM 600 são os que mais se aproximam das suas características, já que não se observou diferença significativa entre essas vegetações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T. J. C., A matéria orgânica do solo no sistema de plantio direto: a experiência do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.ppi-far.org>> Acesso em: 07 nov. 2003.

ANJOS, L. H. dos; PEREIRA, M. G.; RAMOS, D. P. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, Gabriel de Araújo; CAMARGO, Flávio A de O. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo:** ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênesis, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e Função da Matéria Orgânica** In: SANTOS, Gabriel de Araújo; CAMARGO, Flávio A de O. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo:** ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênesis, 1999.

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo das substâncias húmicas do solo:** um procedimento simplificado e de baixo custo. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 2003. (Comunicado técnico; 16).

CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, G. A.; GUERRA, J. G. M. **Macromoléculas e Substâncias Húmicas.** In: SANTOS, Gabriel de Araújo; CAMARGO, Flávio A de O. (eds.). - **Fundamentos da matéria orgânica do solo:** ecossistemas tropicais e subtropicais.- Porto Alegre: Gênesis, 1999.

CARMO, C. A.; MENEGUELLI, N.; LIMA, J.; MOTTA, P. E.; ALVARENGA. A. de P. Estimativa do estoque de carbono na biomassa do clone de seringueira RRIM 600 em solos da zona da mata de Minas Gerais. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br>> Acesso em: 10 maio 2006.

CHENG, B.T. Soil organic matter as a plant nutrient. In: **PROCEEDINGS OF A SYMPOSIUM ON SOIL ORGANIC MATTER STUDIES**, Braunschweig, 6-10 September 1976. **Anais...** Viena: International Atomic Energy Agency, 1977.

CONCEIÇÃO, M. da. **Natureza do húmus e caracterização de solos em elevado teor de matéria orgânica da região de Itaguaí, Santa Cruz – RJ.** 1989. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

CONCEIÇÃO, M. da; ARAÚJO, W. S. de; LIMA, J. A. S.; PREFIN, M. de L. M. S.; MANZATTO, C.; CUNHA, T. J. F. Estoque de Carbono em solos orgânicos do Rio de Janeiro. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 4. Viçosa, 19-22 Novembro, 2001. **Resumos de palestras e trabalhos apresentados.** Viçosa: UFV, Departamento de Solos, 2001.

Seqüestro de Carbono

DABIN, B. Relação entre a evolução dos compartimentos húmicos sob cultura e os fatores físicos e químicos da fertilidade em diferentes solos tropicais. In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, outubro 1982. **Anais...** Piracicaba, 1982. 254p.

DOROFEEFF, A. **Gênese de solos:** fatores pedogênicos. Viçosa: Escritório Técnico de Agricultura Brasil-Estados Unidos. 1960. (Curso de Solos)

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos.** Rio de Janeiro, RJ: CNPS, 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: EMBRAPA/Serviços de Produção de Informação, 1999. 412p.

FLAIG, W.; BELTELPACHER, H.; RIETZ. Chemical composition and physical properties of humic substances. In: GLESEKING, J. E. (ed.). **Soil componente.** New York: Springer-Verlag, 1975.

GALSTON, A. W.; DAVIES, P. S. **Mecanismos de controle do desenvolvimento vegetal.** São Paulo: Ed. USP, 1972. 171p.

KONOVOVA, M. M. **Soil organic matter.** 2. ed. New York: Pergamon Press, 1966.

SILVA, C. A.; MACHADO, P. L. O. A. **Seqüestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas: estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. (Documento, 19).

SETZER, J. **Contribuição para o estudo do clima do Estado de São Paulo.** São Paulo: Escolas Profissionais Salesianas, 1946. 239 p.

Seqüestro de Carbono _____

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions.** 2.ed. New York: J. Wiley. 1994. p.325-349.

SWAMY, H. R.; PROCTOR, J. Litter fall and nutrient cycling in four rain Forest in the Sringeri area of the Indian Western Ghats. **Global Ecology and Biogeography Letters**, Osney Mead, v. 4, p. 155-165, 1994.

TIBAU, A. O. **Matéria orgânica e fertilidade do solo.** São Paulo: Nobel, 1978.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD JR., R. L. Nutrient cycling in most tropical forest. Annual Review Ecology Science, v. 17, p. 137-167, 1986.

WAKSMAN, S. A. **Humus.** Willian and Wilks Co., Baltimore, 1936.

Capítulo 8

Domingos Sávio Queiroz¹

Ciríaca A. F. de Santana do Carmo²

Sergio Gomes Tosto²

Antônio de Pádua Alvarenga¹

Jorge Araújo de Sousa Lima²



QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA E DO CARBONO ORGÂNICO EM PASTAGENS NATURAIS NA ZONA DA MATA-MG

¹ Pesquisadores da EPAMIG- CTZM. Vila Giannetti, 46/47. Campus da UFV. CEP 36570.000, Viçosa, MG. e-mails: dqueiroz@epamig.ufv.br, padua@epamig.ufv.br

² Pesquisadores da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. CEP 22460-000, Rio de Janeiro, RJ. e-mails: ciriac@cnps.embrapa.br; tosto@cnps.embrapa.br; jorge@cnps.embrapa.br

INTRODUÇÃO

A Zona da Mata (ZM) mineira é tradicional bacia leiteira de Minas Gerais, sendo o leite um dos produtos de maior importância econômica para a região. Em razão da estrutura fundiária atomizada, a produção de leite é praticada principalmente por pequenos produtores, em geral com nível tecnológico muito baixo. A região é caracterizada por áreas de relevo acidentado, solos ácidos e baixa fertilidade natural. Cerca de 77,54% de sua área, ou 1.287.687 hectares, é constituída de pastagens naturais compostas predominantemente de capim-gordura (*Mellinis minutiflora* Pal. de Beauv.) (Anuário Estatístico de Minas Gerais, 2002). Essas pastagens naturais estão localizadas nas áreas de maior declividade e menor fertilidade, em razão do próprio planejamento das propriedades agrícolas, uma vez que as áreas de relevo menos inclinado e de maior fertilidade são ocupadas por lavouras que atendem a necessidade do produtor ou porque são mais rentáveis do que a pecuária.

Atualmente observa-se grande introdução de gramíneas do gênero *Brachiaria* na Zona da Mata, principalmente da *B. decumbens*. Mesmo naquelas áreas onde não há semeadura artificial a *B. decumbens* vem colorizando naturalmente.

O capim-gordura, que ocupa os topões e as encostas das elevações da Zona da Mata, é uma planta indicadora de solos pobres. O histórico de uso, ao longo das últimas décadas, com a prática persistente de excesso de carga animal e nenhuma reposição de nutrientes minerais, vem ocasionando a degradação dos solos, reduzindo a capacidade de sustentação. Grande parte das pastagens de morro com capim-gordura da ZM apresenta-se com estágio avançado de degradação, com extensa cobertura por invasoras e de solo descoberto. A péssima condição das pastagens de morro da ZM não é nova. Na década de 60, Gomes (1965) citava a ocorrência de áreas exploradas como pastagens há mais de 50 anos sob pastoreio contínuo, sem rotação, adubação de reposição ou qualquer outro trato, exceto o da bateção anual para eliminação de invasoras.

OBJETIVOS

Este trabalho foi realizado com o objetivo de quantificar a biomassa e o carbono orgânico estocado pela pastagem natural representativa da região da Zona da Mata, o que constitui uma meta do projeto “Caracterização, valoração e análise comparativa do seqüestro de carbono na heveicultura: bases técnicas e científicas para o agronegócio e mercado de *commodities* ambientais” (PRODETAB/EMBRAPA). Nesse projeto, a pastagem natural serve como cenário de referência para o cálculo da redução de emissões de carbono comparada com a seringueira (*Hevea brasiliensis*), visando o mercado de créditos de carbono.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado em área localizada na Fazenda Experimental do Vale do Piranga, pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, no município de Oratórios, em Minas Gerais. A área selecionada para as avaliações de pastagem natural é representativa da região da Zona da Mata, apresentando alta declividade, sinais claros de degradação, com cobertura predominante de capim-gordura (*Mellinis minutiflora* Pal. De Beauv.) (Figura 1) e de espécies invasoras, como capim-sapé (*Imperata brasiliensis*), anileira (*Índigo hirsuta* Lam), cipó-querosene (*Ipomoea spp*), alecrim (*Vernonia nudiflora* Less), vassoura-branca (*Sida sp*), juá (*Solanum sisymbifolium* Lam). As amostras de solo e material vegetal foram coletadas nos seguintes segmentos da pedopaisagem: topo (superior), meia encosta (médio) e baixada (inferior). Durante o período de avaliação, a área vinha sofrendo pastejos periódicos de bovinos, sem nenhum critério de manejo e sem nenhum controle da taxa de lotação.

Seqüestro de Carbono



Figura 1 - Vista parcial da área de pastagem natural degradada. Fazenda Experimental Vale do Piranga – FEVP, EPAMIG, Oratórios, MG.

Em área de aproximadamente 1 ha por segmento da pedopaisagem, procedeu-se à coleta de amostras de plantas de todas as espécies encontradas. O método de amostragem utilizado foi o peso real (GARDNER, 1986), obtido por meio de uma unidade amostral de madeira, com as dimensões de 1,0 m x 0,50 m, lançada dez vezes ao acaso na área de cada segmento. Foram realizadas coletas no período chuvoso (janeiro) e no seco (agosto).

O material vegetal contido na unidade amostral foi coletado com parte aérea e raiz, lavado, pesado e colocado em estufa de circulação de ar forçado, na temperatura de 65ºC, para determinação da biomassa seca. Para quantificar

o estoque de carbono orgânico (CO) da biomassa da parte aérea e da raiz, foi adotado o fator de conversão 0,45, preconizado por Botkin et al. (1993), citados por Schumacher et al. (2002).

O solo foi caracterizado por meio de análises pedológicas e químicas em trincheiras abertas nos três segmentos da pedopaisagem, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999). Recebeu a classificação de Latossolo Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa ao longo de toda a encosta, apresentando baixa saturação de bases em todo o perfil e alta saturação por alumínio até cerca de 1m. A caracterização mais detalhada do solo encontra-se em outro capítulo desta publicação.

RESULTADOS

No período das chuvas, a biomassa total de matéria seca, tanto da parte aérea como da raiz, foi significativamente maior do que no período de seca, independente da posição na encosta (Tabela 1). Esse resultado reflete as melhores condições ambientais para o crescimento de plantas tropicais durante o período chuvoso, em que as condições de umidade e temperatura atendem melhor as exigências das plantas.

Seqüestro de Carbono

Tabela 1 - Biomassa da matéria seca (g/m^2) de pastagem natural em segmentos de uma pedopaisagem nos períodos de chuva e de seca, em Oratórios – MG

Pedopaisagem	Época	P. aérea	t	Raiz	t	Total	t
Baixada	chuvas	294,8	a	63,2	a	358,0	a
Baixada	seca	134,7	b	53,4	a	188,1	b
Meia encosta	chuvas	279,0	a	62,4	a	341,4	a
Meia encosta	seca	130,7	b	36,8	b	167,5	b
Topo	chuvas	164,9	a	57,0	a	221,9	a
Topo	seca	118,6	a	28,1	b	146,8	b
Média	chuvas	246,2	a	60,9	a	307,1	a
Média	seca	128,0	b	39,5	b	167,5	b

(Obs. Médias seguidas de mesma letra, por local, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)).

No topo da encosta, não foi observada diferença significativa na biomassa da matéria seca da parte aérea nos períodos chovoso e seco. No período chuvoso a biomassa da parte aérea de topo ficou muito abaixo dos valores médios observados para a baixada e meia encosta, provavelmente devido à disponibilidade de água e da fertilidade do solo. Ademais, o pastejo preferencial dos animais em alguns segmentos da toposequência pode ter interferido na disponibilidade de biomassa. A biomassa de raíz seguiu a mesma tendência observada para a parte aérea, elevando-se do topo para a baixada.

As diferenças na biomassa de matéria seca total (raiz + parte aérea) nos períodos chuvoso e seco e nos segmentos da pedopaisagem ficam mais evidenciados na Figura 2. No período seco, a diferença entre os segmentos da pedopaisagem foi menos evidente, pois, nesse período, o crescimento do pasto foi reduzido e a massa disponível refletiu mais a massa residual acumulada no período chuvoso e que não foi consumida pelos animais em pastejo.

Seqüestro de Carbono

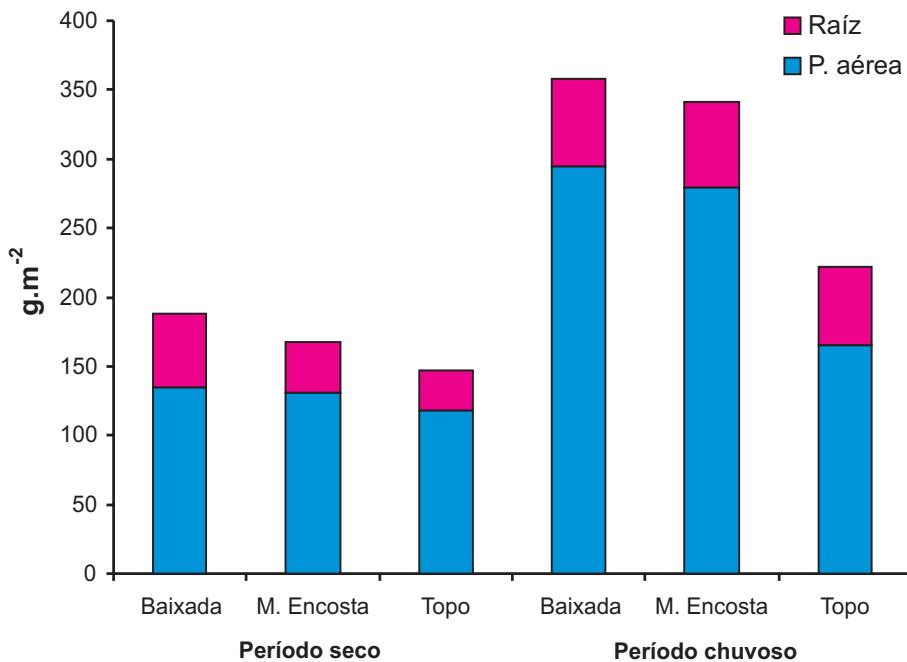


Figura 2 - Biomassa total, (parte aérea + raiz) de pastagem natural, nos períodos de chuva e de seca, em cada segmento da pedosequência em Oratórios – MG.

A biomassa do pasto, diferentemente de uma floresta ou cultura permanente, pode apresentar grandes variações ao longo do ano, em função das condições de crescimento e intensidade de uso, principalmente em relação à taxa de lotação animal praticada. Neste trabalho, foram feitas duas avaliações, uma no período chuvoso e outra no período seco. Embora as invasoras tenham sido incluídas no cálculo da biomassa, a média anual (Tabela 2) ficou dentro de valores aceitáveis, considerando que o capim-gordura apresenta produção anual de 3 a 8 t de matéria seca por hectare (BOTREL, 1983), quando rebrotas sucessivas são avaliadas. É reconhecida a baixa tolerância do capim-gordura

Seqüestro de Carbono

ao pastejo contínuo pesado, condição que pode levar o pasto à degradação observada nesse caso e que pode ser encontrada na grande maioria dessas pastagens na Zona da Mata.

Tabela 2 - Média anual de biomassa de matéria seca da parte aérea, raiz e total (g/m^2) da pastagem natural em segmentos de uma pedopaisagem em Oratórios – MG

Pedopaisagem	P. Aérea	D	Raiz	D	Total	D
Baixada	214,7	a	58,3	a	273,0	A
Meia encosta	204,8	a	49,6	ab	254,4	A
Topo	141,7	b	42,6	b	184,3	B
Média	187,1		50,2		237,3	

Médias seguidas de mesma letra, por local,
são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

Como consequência da biomassa acumulada no pasto, o carbono orgânico apresentou maior quantidade na baixada e meia encosta, em relação ao topo da elevação (Tabela 3). Quanto ao potencial de acumulação de carbono, pastos degradados de capim-gordura apresentaram quantidade muito baixa de carbono estocado. Isso reflete a situação atual dos pastos naturais da ZM em que a degradação ambiental vem aumentando devido à utilização de áreas impróprias para a agropecuária, de práticas de manejo inadequadas das pastagens, do solo e da água. Como consequência, a perda de fertilidade natural do solo concorre para a diminuição da produtividade das pastagens.

Seqüestro de Carbono

Tabela 3 -Biomassa de matéria seca (parte aérea + raiz) e de carbono orgânico estocado na biomassa, nos períodos chuvoso e seco, em segmentos da pedopaisagem de uma pastagem natural em Oratórios – MG

	Total (t.ha ⁻¹)	C (t.ha ⁻¹)
Baixada	5,5	2,47
Meia encosta	5,1	2,29
Topo	3,7	1,66

Diante dessa situação, torna-se premente reincorporar estas áreas ao sistema produtivo através da adoção de práticas que permitam uma exploração sustentável e econômica, como diversificação de pastagem, com a introdução de novas gramíneas e leguminosas; plantio direto; sistemas silvipastoris; melhoria da fertilidade do solo; manejo adequado das pastagens; práticas de conservação do solo e água; entre outras ações fundamentais no processo de recuperação das áreas degradadas, com reflexos no aumento da produção animal e na qualidade de vida da população.

Pastos melhorados, adubados e manejados corretamente podem produzir até 30 t de matéria seca de parte aérea por hectare por ano, ampliando tremendo o potencial de captura de carbono em relação a pastos degradados. Considerando a biomassa de raiz e a matéria orgânica incorporada ao solo, esses valores podem ser muito maiores. Bouman et al. (1999), com base em dados obtidos na Costa Rica, estimam que a conversão de pastagens tropicais degradadas em pastagens de gramíneas-leguminosas ou gramíneas fertilizadas pode levar ao seqüestro de CO₂ equivalente a 50 t de carbono por hectare. Mesmo as áreas onde o capim-gordura foi substituído por gramíneas do gênero *Brachiaria*, há problemas de degradação, pois a maioria dos produtores não adota as práticas de manejo recomendadas, não adubam adequadamente, resultando em grande oportunidade de ampliar a captura de carbono nessas áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE MINAS GERAIS 2000-2001. Belo Horizonte, Fundação João Pinheiro, v. 9, 2002.

BOTREL, M.A. Algumas considerações sobre gramíneas e leguminosas forrageiras. Coronel Pacheco, MG: EMBRAPA CNPGL, 1983. 59 p. (EMBRAPA-CNPGL, Documentos, 09)

BOUMAN, B.A.M.; PLANT, R.A.J.; NIEUWENHUYSE, A. Quantifying economic and biophysical sustainabilit trade-offs in tropical pastures. **Ecological Modelling**, v. 120, n. 1, p. 31-46, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA/Serviços de Produção de Informação, 1999. 412p.

GARDNER, A. L. **Técnicas de pesquisa em pastagens e aplicabilidade de resultados em sistemas de produção**. Brasília: IICA; EMBRAPA CNPGL, 1986. 197p.

GOMES, M.R. **Formação e recuperação técnica de pastagens**. PLANO DE FINANCIAMENTO. 1965. Universidade Rural do Estado de Minas Gerais. 1965. 48p.

MOREIRA, L. de M.; FONSECA, D. M. da; VITOR, C. M. T.; ASSIS, A. J. de; NASCIMENTO JUNIOR, D. do; RIBEIRO JUNIOR, J. I.; OBEID, J. A. Renovação de pastagem degradada de capim gordura com a introdução de forrageiras tropicais adubadas com nitrogênio ou em consórcios. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, v. 34, n. 2, p. 442-453, 2005.

Seqüestro de Carbono

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALDEIRA, M.V.W. E WATZLAWICK, L.F. Estoque de carbono em florestas de *Pinus taeda L.* e *Acacia mearnsii* de Wild. plantadas no estado do Rio Grande do Sul-Brasil. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICH, L. F.; BALBINOT, R. M.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. (ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, PR: Brasil, 2002. 264p.

Seqüestro de Carbono _____

Capítulo 9

Rodrigo Pinto da Mata Machado¹



ANÁLISE COMPARATIVA DA DECOMPOSIÇÃO DE FOLHAS DE SERINGAIS E DE DUAS TIPOLOGIAS DE FLORESTA ATLÂNTICA: PROCURANDO UMA IMAGEM DO ECOSISTEMA LOCAL

¹ Professor Adjunto do Departamento de Biologia Geral do Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, e-mail: mattamac@icb.ufmg.br

INTRODUÇÃO

O carbono é um elemento cristalino (grafita ou diamante), que compõe extensas cadeias de compostos químicos (um exemplo seria a matéria orgânica) (FERREIRA, 1986).

Este carbono pode estar relacionado aos grandes depósitos minerais que geram energia para uma enorme quantidade de cidades e indústrias do mundo, ou pode ser aquele que sobra numa churrasqueira.

Essas reservas de matéria orgânica fossilizada tornaram-se reservas de petróleo (“óleo de pedra”), também chamado de combustível fóssil. Neste caso, ocorreu, durante milhões de anos, um excesso de produção de matéria orgânica pelos seres vivos, que não sofreu decomposição e foi sendo depositada para sofrer transformações químicas naturais e gerar as imensas reservas de petróleo que compõem grande parte da matriz energética atual.

A queima de carbono na forma de substâncias orgânicas decompostas separa os elementos químicos e leva o carbono de volta para a atmosfera, acoplado ao oxigênio na forma do gás carbônico (CO_2). Em razão da queima desordenada de compostos carbonatos, que vem ocorrendo nas últimas décadas pelas atividades humanas, especialmente pela queima de combustíveis fósseis e pela conversão de florestas tropicais em ecossistemas artificiais, está havendo a liberação de mais carbono na atmosfera do que a natureza é capaz de bombear através da fotossíntese. Conseqüentemente, tem ocorrido um aumento desproporcional das concentrações de CO_2 na atmosfera, que barra o retorno da energia calórica vindas da superfície terrestre e gera um aumento inesperado do efeito estufa, que, até então, era um efeito fundamental para que a temperatura da Terra se mantivesse em condições ideais para um bom funcionamento dos ecossistemas (ABER e MELILLO, 1991).

De acordo com Steiner (1974), antigamente o carbono era chamado pelo nobre nome de “a pedra do sábio”-a pedra filosofal. *“Como ele aparece diferente, entretanto, quando o percebemos nas suas atividades vivas, passando através do corpo humano ou animal, ou construindo o corpo da planta em suas condições peculiares. O carbono é de fato o condutor de todos os processos criativamente formativos na Natureza. Em tudo que é formado ou moldado na Natureza, seja na forma da planta ou do corpo animal, o carbono é, em toda parte, o grande artista plástico escondido”* (STEINER, 1974).

Ecossistemas florestais naturais ou plantados pelo homem, como os seringais, dependendo do desenho dos sistemas de produção, podem ser vistos como ambientes potenciais para a exclusão de parte do excesso deste “artista plástico” da atmosfera, através do processo da fotossíntese, para ser (trans)formado em matéria orgânica, na forma de biomassa (GEORGE, 2001; DEY, 2005; LAL, 2005; YANG et al., 2005).

Os caminhos que o carbono pode seguir nos ecossistemas agrícolas e naturais são diversos. A decomposição é um desses caminhos e pode ser considerada um processo indicativo da qualidade dos solos.

A decomposição da camada de resíduos orgânicos espalhados sobre a superfície do solo é um importante processo ecológico porque esses resíduos contêm nutrientes. A quantidade de nutrientes essenciais que entram num ecossistema, a cada ano, é geralmente baixa, quando comparada com a quantidade que cicla dentro do sistema. A produção vegetal depende da reciclagem de nutrientes dentro do sistema, e a reciclagem depende da decomposição da matéria orgânica e da liberação dos nutrientes nela contidos, para que, em seguida, sejam, o máximo possível, assimilados pelas raízes das plantas (ABER e MELILLO, 1991). Uma situação ideal para a reutilização destes nutrientes seria uma sincronização entre a taxa de decomposição da matéria orgânica e a assimilação dos nutrientes essenciais liberados no solo

pelo processo da decomposição. Desta forma, a reciclagem de nutrientes seria otimizada, gerando menores perdas de nutrientes e, consequentemente, maior economia através da diminuição na entrada de nutrientes caros, vindos de fora do ecossistema florestal (JORDAN, 1985).

Neste capítulo, será investigado o caminho do carbono contido nas folhas depositadas como serrapilheira na superfície do solo e que estão em processo de decomposição, ao longo de 20 meses, em quatro tipologias vegetais: duas florestas tropicais, em estágios diferentes de desenvolvimento (ou sucessão ecológica), e dois clones de seringueira (*Hevea brasiliensis*). Os dados sobre produtividade e composição mineral da serrapilheira, bem como a caracterização detalhada dos distintos horizontes orgânicos das tipologias vegetais citadas, são apresentados por Kindel et al. no Capítulo 6.

Partindo do pressuposto de que os sistemas de produção agrícola devem ser as “imagens” do ecossistema local (JACKSON, 1980) e de que a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas naturais podem servir de modelos para que os agroecossistemas caminhem em direção à sustentabilidade (HART, 1979), neste estudo a perda de massa das folhas da serrapilheira dos dois tipos de florestas (capoeira e mata) foram considerados como padrão comparativo. A expectativa é a de que as folhas de seringueira sigam o mesmo padrão de decomposição, ao longo do período de 20 meses, quando comparadas com a capoeira e a mata.

METODOLOGIA

Em julho de 2003, foram coletadas amostras de serrapilheira de dois clones de seringueira, denominados RRM 600 e IAN 873, e duas tipologias de vegetação de Mata Atlântica (Capoeira e Mata da Fazendinha) em glebas da Fazenda Experimental do Vale do Piranga, pertencente à EPAMIG (Empresa

de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais), localizada no município de Oratórios, Zona da Mata de Minas Gerais, com altitude média de 422 m, definido pelas coordenadas geográficas de 20º 40' de latitude sul e 42º 90' de longitude. A média anual de temperatura do ar é de 23,8ºC, variando entre a média das máximas de 29,5ºC e a média das mínimas de 15ºC. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa. A umidade relativa média do ar é de 64,7% e a precipitação pluviométrica média anual é de 1150 mm. Há por duas estações bem definidas: 80% das chuvas ocorrem entre outubro e março, correspondendo ao período chuvoso, e os 20% restantes entre os meses de abril e setembro, período seco (COELHO e RIBEIRO, 1988).

As amostras de serrapilheira (cerca de 6g de folha) foram secas em estufa a 60°C, durante 48 horas, pesadas em balança de precisão. Em seguida, foram colocadas dentro de sacolas de serrapilheira (“litter-bags”), feitas com tela de nylon de 2 mm e tamanho de 30 x 30 cm, no total de 60 sacolas por tratamento (divididos em três repetições por tratamento). Em novembro de 2003, as sacolas foram colocadas na superfície do solo das mesmas glebas onde foram coletadas as folhas de cada tratamento, e mensalmente, durante 20 meses, eram retiradas três sacolas por tratamento. Elas foram enviadas para o Laboratório de Solos da EMBRAPA - CNPS, onde foram secas em estufa, limpas e pesadas. Em seguida, foi calculado o peso remanescente de cada amostra (KINDEL et al., 2006).

RESULTADOS E CONCLUSÕES

De acordo com a Figura 1, ao longo dos primeiros sete meses do estudo, os dois clones de seringueira tiveram uma dinâmica de decomposição parecida com a da capoeira, perdendo cerca de 15% a 20% do peso inicial. Por outro lado, a serrapilheira da mata perdeu, somente no primeiro mês, quase o mesmo valor que os outros três tratamentos, chegando a mais de 40 % de perda no sétimo mês.

Seqüestro de Carbono

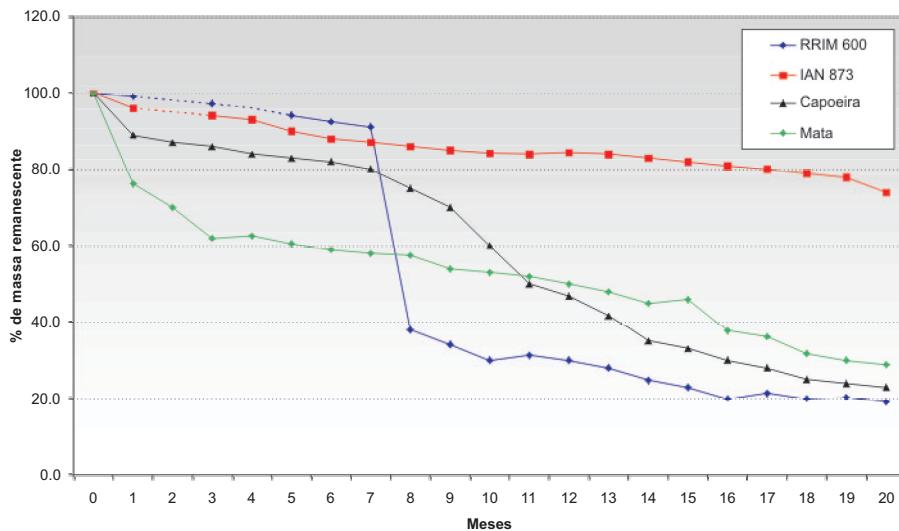


Figura 1 - Percentagem de massa remanescente de serrapilheira de dois clones de seringueira (RRIM 600 e IAN 873) e duas tipologias de vegetação (capoeira e mata) ao longo de 20 meses.

Entre o sétimo e o oitavo mês, ou seja, em 30 dias, o clone RRIM 600 perdeu cerca de 50% de seu peso inicial, mostrando um grande pulso de nutrientes liberados para o solo neste período. Enquanto isso, ao longo dos sete meses restantes o clone IAN 873 mostrou uma taxa de decomposição baixa em relação aos outros três tratamentos. Após 20 meses, a Capoeira, a Mata da Fazendinha e o clone RRIM 600 tinham, respectivamente, 23%, 30% e 19% de massa remanescente, enquanto o clone IAN 873 alcançou somente 74% de perda da massa remanescente. Kindel et al. (2006) relatam que o clone de seringueira RRIM 600 é superior ao clone IAN 873, devido a uma maior produtividade de serrapilheira, bem como a maior teor e maior quantidade de nutrientes de serrapilheira acumulada na superfície dos solos, consequentemente gerando maior fertilidade do solo sob esse clone. Este

Seqüestro de Carbono

aumento de fertilidade e, possivelmente, a maior atividade biológica do solo devem ser motivos para que o clone de seringueira RRIM 600 tenha uma taxa de decomposição maior e, com isso, libere maior quantidade de nutrientes para o solo. Além disso, esses autores mostram que o teor de carbono e a fertilidade do solo nos fragmentos florestais estudados estão relacionados com o estoque de serrapilheira e sua qualidade nutricional, sendo maior na Mata da Fazendinha, o que explica, em parte, a maior perda inicial da serrapilheira desta Mata neste estudo, devido a, possivelmente, maior atividade biológica do solo atuante durante o processo de decomposição.

Prescott (2005) alerta que somente a taxa de decomposição não diz muito sobre a dinâmica de carbono e a ciclagem de nutrientes, e que deveríamos dar mais atenção às estimativas de produtividade de serrapilheira como melhor medida indicadora. Além disso, há um “limite máximo de decomposição”, que corresponde ao ponto em que a serrapilheira torna-se húmus e entra na segunda fase de decomposição, a qual leva muito mais tempo do que a fase inicial (BERG e EKBOHM, 1993, citado por Prescott, 2005).

Finalmente, após os 20 meses deste estudo, o clone de seringueira RRIM 600 teve um padrão de decomposição mais próximo ao padrão da mata e da capoeira, sugerindo que este seja o clone mais recomendado para plantio para alcançar uma imagem mais próxima do ecossistema local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABER, D.; MELILLO, J. **Terrestrial ecosystems**. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1991. 429p.
- BERG, B.; McCLAUGHERTY, C. **Plant litter**: decomposition, humus formation, carbon sequestration. Berlin: Springer, 2003. 286p.
- COELHO, M. B.; RIBEIRO, S. N. N. Análise dos dados meteorológicos do município de Ponte Nova, MG. **Brasil Açucareiro**. Rio de Janeiro, v. 106, n. 4, p. 26-36, 1988.
- DARIUSZ, K.; MARTIUS, C.; HOFER, H.; GARCIA, M.; FORSTER, B.; BECK, L.; VLEK, P. Litter decomposition, microbial biomass and activity of soil organisms in three agroforestry sites in Central Amazonia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 69, p. 257-267, 2004.
- DEY, S. K. A preliminary estimation of carbon stock sequestered through rubber (*Hevea brasiliensis*) plantation in north eastern region of India. **Indian Forester**. Dehra, Índia, v. 131, n. 11, p. 1429-1436, 2005.
- FERREIRA, A.B. H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.
- GEORGE, K. Exploring new frontiers of environment conservation: the case of rubber plantations. Tropical forestry research: challenges in the new millennium. **Proceedings of the International Symposium**, Peechi, India, 2-4 august, 2000. p. 267-72, 2001.
- HART, R. D. A natural ecosystem analog approach to the design of successional crop systems for tropical forest environments. **Biotropica**. v. 12, p. 73-82, 1979.

Seqüestro de Carbono

JACKSON, W. **New roots for agriculture.** San Francisco : Friends of the Earth; Salina, Kan. : Land Institute, 1980. 155p.

JORDAN, C. F. **Nutrient cycling in tropical forests.** New York: J. Wiley, 1985. 190p.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management.** Amsterdam, v. 220, n. 1-3, p. 242-258, 2005.

PRESCOTT, C. Do rates of litter decomposition tell us anything we need to know? **Forest Ecology and Management.** Amsterdam, v. 220, n. 1-3, p. 66-74, 2005.

STEINER, R. **Agriculture.** London: Rudolf Steiner Press, 1974.

YANG, J.; HUANG, J.; TANG, J.; PAN, Q.; HAN, X. Carbon sequestration in rubber tree plantations established on former arable lands in Xishuangbanna, SW China. **Acta Phytoecologica Sinica.** v. 29, n. 2, p. 296-303, 2005.

Seqüestro de Carbono _____

Capítulo 10

Dalziza de Oliveira²

Jomar da Paes Pereira³

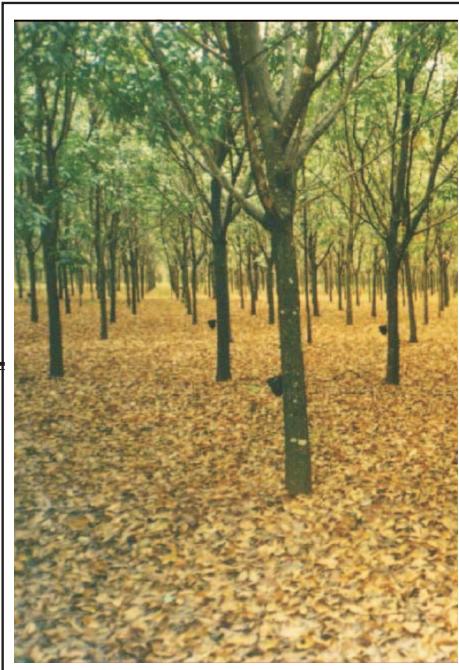
André Luiz Medeiros Ramos²

Paulo Henrique Caramori²

Celso Jamil Marur²

Cláudia Wagner-Riddle⁴

Paul Voroney⁴



CARBONO NA BIOMASSA E NA RESPIRAÇÃO DO SOLO EM PLANTIO COMERCIAL DE SERINGUEIRAS NO PARANÁ

-
- ¹ Pesquisa realizada com o apoio financeiro do Inter-American Institute for Global Change Research (Instituto Inter-Americano para Pesquisas em Mudanças Climáticas – IAI)
- ² Pesquisadores do IAPAR – Áreas de Ecossiologia e Fitotecnia – Rod. Celso Garcia Cid, km 375 – Caixa Postal 481, CEP 86001-970, Londrina, PR. e-mails: dalziza@iapar.br, cjmarur@iapar.br, caramori@iapar.br, heverly@iapar.br
- ³ Pesquisador da EMBRAPA atuando junto à equipe do IAPAR, em Londrina, PR.
e-mail: jomar@iapar.br
- ⁴ Pesquisadores e professores da Universidade de Guelph, no Canadá (University of Guelph, Department of Land Resource Science, Guelph, Ontário, Canadá, N1G2W1).
e-mails: cwagnerr@uoguelph.ca, pvoroney@uoguelph.ca

INTRODUÇÃO

Desde a Convenção do Clima e a assinatura do Protocolo de Quioto, o interesse pelo estudo de fluxos de CO₂ entre ecossistemas terrestres e a atmosfera cresceu com substancial importância, principalmente em sistemas florestais das áreas tropicais e subtropicais do Globo. Nessas áreas, o crescimento das árvores é mais acelerado, resultando em maiores taxas de fixação de carbono e na consequente remoção de CO₂ da atmosfera.

O Brasil é um dos primeiros países em desenvolvimento a criar regras específicas para a obtenção de créditos de carbono dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), espinha dorsal do Protocolo de Quioto para reduzir as emissões mundiais de gases do efeito estufa. Os MDLs são projetos dos países desenvolvidos com compromisso de redução de emissões de carbono e dos países em desenvolvimento, sem esse compromisso (MAN YU, 2002). Entre as atividades elegíveis para projetos de MDL, estão o aumento da eficiência energética, o uso de fontes renováveis de energia e os projetos de florestamento e reflorestamento. O pagamento dos créditos de carbono para projetos de florestamento e reflorestamento, contudo, depende da quantificação das taxas de fixação de carbono por tipo de sistema florestal.

Experimentos de campo com sistemas agroflorestais conduzidos no INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR, durante os últimos 15 anos, mostraram que plantações de seringueira (*Hevea brasiliensis*) são indicadas para a recuperação de solos degradados, contribuem para a geração de empregos no campo e proporcionam receita para os produtores a partir do sexto ano de plantio (PEREIRA et al., 1994). A seringueira tem ainda o atrativo de ser uma espécie potencial para uso nas áreas de reserva legal do Estado do Paraná.

Vislumbrando as potencialidades de uso da seringueira em projetos de reflorestamento e também em composição de áreas de reserva legal, ambos elegíveis para a obtenção de créditos de carbono, buscou-se, neste estudo, quantificar o potencial das plantações de seringueira para seqüestrar carbono atmosférico por meio da quantificação do carbono fixado na biomassa e do carbono emitido através da respiração do solo.

DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA E DO ESTOQUE DE CARBONO NAS SERINGUEIRAS

O estudo da biomassa vegetal e o estoque de carbono foram realizados em um plantio de seringueiras (*Hevea brasiliensis*, clone PB235) localizado na Fazenda Guanabara, em Paranapoema, PR, às margens do Rio Panapanema, na divisa com São Paulo (latitude 22°43'S; longitude 57°07'W; altitude 400 m). O clima é subtropical, classificado segundo Köeppen como Cfa, com temperatura média de 22°C e 1.500 mm de precipitação anual. O solo nesse local é arenoso, do grupo dos Latossolos Vermelho-Amarelos (85% de areia e 15% de argila), com pH (em CaCl₂) igual a 4, conteúdo médio de carbono entre 0,5 e 1,0% e topografia plana.

Amostras para quantificação da biomassa de seringueira foram tomadas a partir de talhões de árvores com 4, 6 e 15 anos de idade, plantadas em espaçamento de 8m x 2,5m, em fevereiro de 2002. Em cada talhão, o diâmetro à altura do peito (DAP) foi medido em aproximadamente 80 árvores, para cálculo do DAP médio da população. Os talhões eram de plantação comercial, com plantas bastante homogêneas quanto ao diâmetro e à altura, permitindo a amostragem de quatro árvores com DAP médio por grupo de idade para representar cada talhão.

Seqüestro de Carbono

Uma vez derrubadas, as árvores tiveram sua biomassa separada nas seguintes frações: tronco, folhas, galhos (secos, com diâmetro > 4 cm e com diâmetro < 4 cm) (Figura 1). Áreas de 1, 4 e 6,25 m² foram escavadas ao redor de cada toco de árvore derrubada para se proceder à amostragem da biomassa subterrânea das seringueiras de 4, 6 e 15 anos, respectivamente (Figura 2). As partes das raízes foram classificadas em cavalo do toco da raiz, raízes pivotantes, raízes finas laterais e raízes soltas (coletadas na área escavada). Exemplo de raiz de uma seringueira de 15 anos, após extração, é apresentado na Figura 3.



Figura 1 - Retirada das folhas de uma seringueira de 6 anos, para quantificação da biomassa aérea.

Seqüestro de Carbono —



Figura 2 - Uso de cabo de aço preso a trator para extração da raiz de uma seringueira de 6 anos.

Seqüestro de Carbono



Figura 3 - Raiz de seringueira de 15 anos, de cabeça para baixo, comparada à altura dos trabalhadores que fizeram sua extração.

O peso da biomassa fresca foi determinado em cada categoria de árvore por pesagem das amostras coletadas no local, imediatamente após a derrubada de cada uma, conforme proposto por Sanqueta (2002). Foram retiradas subamostras de cada categoria, que foram posteriormente levadas ao laboratório para secagem a 60°C e determinação do peso de matéria seca. Devido a desuniformidade do conteúdo de umidade ao longo do tronco e dos

galhos, tomou-se o cuidado de subamostrá-los corretamente. Por exemplo, discos do tronco foram retirados em intervalos de 2m, e subamostras foram tomadas para as porções correspondentes a 1/3 inferior, 1/3 médio e 1/3 superior dos galhos. As subamostras foram preparadas para análise por meio de moagem, e o conteúdo de carbono de cada subamostra foi determinado no Laboratório de Análises de Solo do IAPAR, utilizando o método de Walkley-Black, conforme descrito por Page et al. (1982).

RESULTADOS

As árvores tinham altura média de 6, 8 e 18 m para as idades de 4, 6 e 15 anos, respectivamente. O teor de carbono (expresso em gramas de carbono/gramas de matéria seca) foi, em média, de 56% nas folhas, 62% nos galhos grossos, 60% nos galhos finos. No tronco, os teores foram de 63% na madeira e 56% na casca.

O acúmulo de carbono na biomassa ocorreu a uma taxa de 2 Mg/ha.ano, durante os primeiros 4 anos, e aumentou para aproximadamente 7 Mg/ha.ano no período entre o 4º e 15º anos. O acúmulo total de carbono na biomassa chegou a 90 Mg/ha após 15 anos (Tabela 1). A maior parte do carbono, como era esperado, proveio dos galhos (28-45%) e do tronco (35-40%), com 15-22% oriundos das raízes e apenas 3-12% das folhas (Figura 4).

Seqüestro de Carbono

Tabela 1 - Massa seca total e conteúdo de carbono, de acordo com a idade dos seringais

Idade (anos)	Massa seca (Mg/ha)	Carbono (Mg/ha)
4	12	7
6	34	21
15	146	90

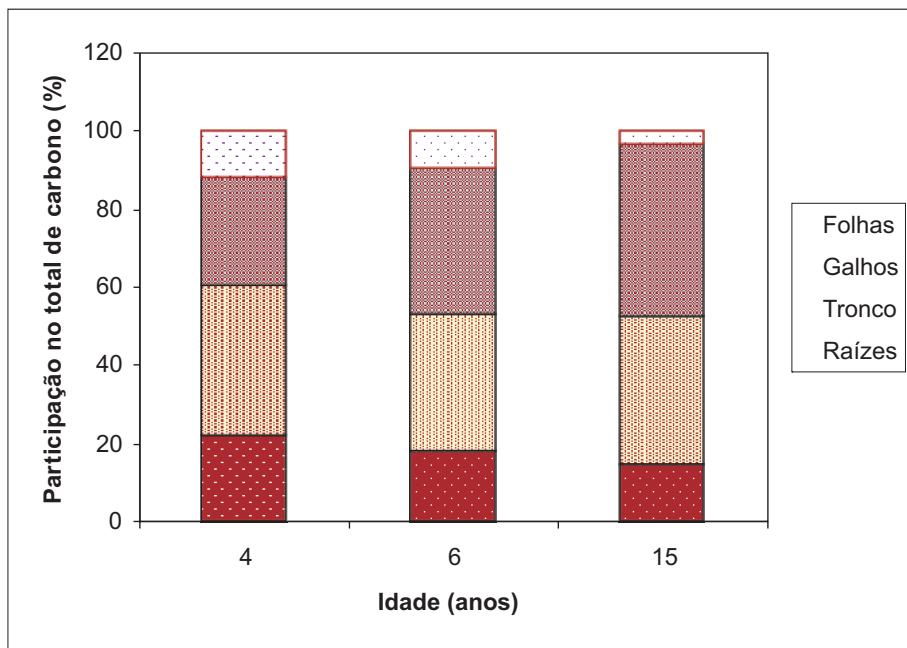


Figura 4 - Contribuição percentual das folhas, galhos, troncos e raízes no acúmulo de carbono em plantas de seringueira de 4, 6 e 15 anos de idade.

FLUXOS DE CO₂ DO SOLO EM SERINGUEIRA E PASTAGEM

O carbono é acumulado nas plantas a partir da fotossíntese. As taxas fotossintéticas podem ser estimadas pela quantificação dos fluxos de dióxido de carbono (CO₂) no ar e no solo. Um dos métodos utilizados para estimativa de fluxo de gases provenientes do solo é o micrometeorológico, com medida do gradiente da concentração de CO₂ acima do nível do solo (WAGNER-RIDDLE et al., 1996). Outra possibilidade é o uso de câmaras fechadas em que se mede diretamente a concentração de CO₂ usando analisadores de gás infravermelho (IRGA). Essas câmaras têm sido propostas em diferentes formas e tamanhos ao longo das últimas décadas (ROSENBERG et al., 1983; NORMAN et al., 1992).

As medições de fluxo de CO₂ do solo foram realizadas em seringais do clone PB-235, com idade de 4, 6 e 15 anos, e em área de pastagem de brachiária. As leituras foram feitas em áreas delimitadas por tubos de PVC, com 15 cm de diâmetro e 15 cm de altura, com 2 cm da borda inferior enterrada na superfície. Em cada seringal, os tubos foram colocados a partir do ponto central, entre duas plantas na linha, e distanciados a cada 1 metro em direção ao ponto central entre as duas linhas de árvores. Foram instalados, assim, 15 pontos de leitura por seringal, cobrindo uma área de 24 m². Em uma área de pastagem próxima dos seringais, foram instalados três tubos.

Os fluxos de CO₂ do solo foram obtidos com um sistema portátil de análise de gás a infravermelho (modelo LI-6200), com as adaptações descritas a seguir. A câmara do sistema (utilizada para medição de fotossíntese) foi retirada do *sensor head* e, no seu lugar, foi conectada uma placa de acrílico, de 20 cm de lado, revestida com espuma emborrachada de 2 mm de espessura. Próximo dos pontos de entrada e saída de ar foi instalada uma ventoinha para movimentação do ar no momento da leitura. O sistema foi programado para

Seqüestro de Carbono

que as leituras fossem obtidas com três observações de 5 segundos cada. As medições foram feitas nos dias 11 e 12/02/03 e nos dias 13 e 14/05/03, entre as 7h30 min e 18 horas. No dia 12 de fevereiro, procedeu-se, também, a leituras entre 16 e 17h30 min.

As adaptações efetuadas para proceder às leituras do fluxo de CO₂ do solo mostraram-se eficientes. Ao contrário do sistema empregado por Norman et al. (1992), os tubos foram fixados permanentemente na superfície do solo, de modo a não produzir distúrbios que levassem a vazamentos durante a leitura. As leituras feitas em um intervalo de poucos segundos também agilizaram sobremaneira o trabalho.

Cada valor observado nas Figuras 5 e 6 é a média das leituras nos 15 pontos de cada seringal, e representa, portanto, o fluxo de CO₂ em cada área, nos horários indicados nas figuras. Em todos os dias, os fluxos de CO₂ mantiveram-se baixos durante o período matutino e aumentaram a partir do início da tarde, alcançando os maiores níveis ao final desse período. Nas leituras realizadas em fevereiro, nos seringais com diferentes idades, os maiores fluxos foram observados na área com plantas de 15 anos de idade, que estavam mais desenvolvidas e, consequentemente, apresentavam maiores taxas respiratórias provenientes das raízes e da atividade microbiana.

Seqüestro de Carbono

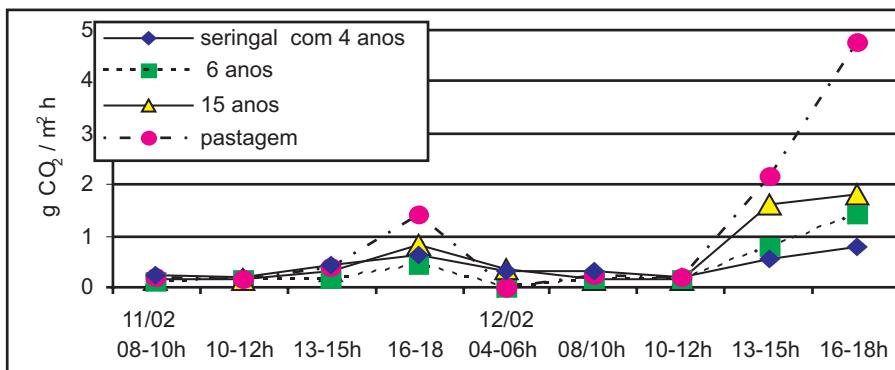


Figura 5 - Fluxo de CO_2 do solo ($\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), ao longo dos dias 11 e 12/02/2003, em seringal de 4, 6 e 15 anos e em pastagem.

Em maio, como as leituras dos dois dias foram similares, optou-se por apresentar o valor médio para cada horário (Figura 6). Observou-se que as diferenças entre os seringais de diferentes idades foram muito pequenas, provavelmente em função das temperaturas mais amenas nesse período.

Comparando-se os seringais e a pastagem, observou-se, surpreendentemente, que os maiores fluxos de CO_2 do solo são provenientes desta última, o que não era esperado, uma vez que o conteúdo de carbono no solo da pastagem era inferior ao observado na seringueira até 40 cm de profundidade. Informações complementares devem ser buscadas a fim de identificar a causa dessas diferenças.

Seqüestro de Carbono

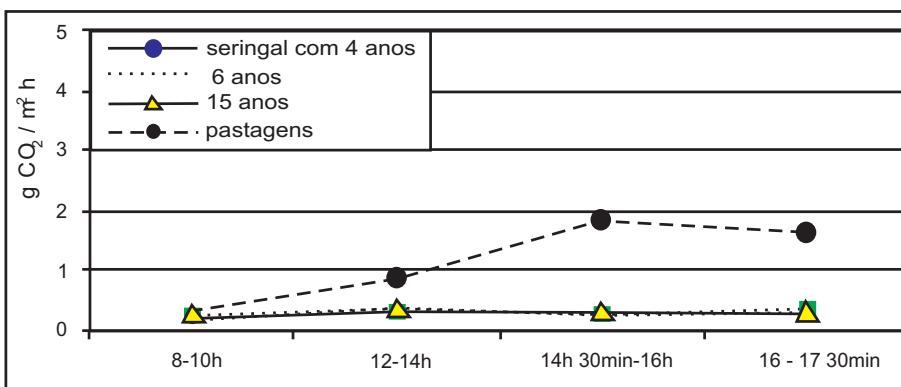


Figura 6 - Valores médios do fluxo de CO_2 do solo ($\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), nos dias 13 e 14/05/2003, em seringal de 4, 6 e 15 anos e em pastagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DALE, V. H. The relationship between land-use change and climate change. **Ecological Applications**. Tempe, Ariz., V. 7, n. 3, p. 753-769, 1997
- MAN YU, C. Caracterização e tipologia dos projetos de seqüestro de carbono no Brasil. In: SANQUETTA, C. R.; WARZLAWICH, L. F.; BALBINOT, R. M. A.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. (eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 265p. 2002.
- NORMAN, J. M.; GARCIA, R.; VERMA, S. B. Soil surface CO_2 fluxes and the carbon budget of a grassland. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 97, n. 17, p. 18845-18453, 1992.
- PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis**: chemical and microbiological properties. 2. ed. Madison, WI.: American Society of Agronomy, 1982. pt. 2.

Seqüestro de Carbono

PEREIRA, J. da P.; LEAL, A. C.; RAMOS, A. L. M. Perspectivas da heveicultura no noroeste do Estado do Paraná. In: SEMINÁRIO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA REGIÃO SUL DO BRASIL, Colombo, 1994. **Anais...** EMBRAPA-CNPq, 1994. p.231-240, (Documento, 26)

ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate:** the biological environment. New York: J. Wiley, 1983. 495p.

SANQUETA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; WARZLAWICH, L. F.; BALBINOT, R. MA.; ZILIOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. (eds.). **As florestas e o carbono.** Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 265p. 2002.

WAGNER-RIDDLE, C.; THURTELL, G. W.; KING, K. M.; KIDD, G. E.; BEAUCHAMP, E. G. Nitrous oxide and carbon dioxide fluxes from a bare soil using a micrometeorological approach. **Journal of Environmental Quality.** Madison, Wis., v.25, p. 898-907, 1996.

Seqüestro de Carbono _____

Capítulo 11

Rodrigo Silva do Vale¹
Renato Luiz Grisi Macedo²
Laércio Couto³
Francinelli Angeli F.do Vale⁴
Nelson Venturin⁵



SISTEMAS AGROFLORESTAIS

-
- ¹ Pesquisador da Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura - SBAG,
e-mail: rsvambiente@yahoo.com.br;
 - ² Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras DCF/
UFLA e-mail: rlgrisi@ufla.br ;
 - ³ Pesquisador e Presidente da Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura - SBAG,
e-mail: presidencia@sbag.org.br;
 - ⁴ Pesquisadora da Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura - SBAG
e-mail:fafvale@uol.com.br;
 - ⁵ Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras – DCF/
UFLA. e-mail: venturin@ufla.br

CONCEITOS E DEFINIÇÕES

A Agrossilvicultura consolidou-se como a ciência que estuda os sistemas agroflorestais, uma modalidade antiga de uso da terra, praticada, há milhares de anos, em todas as regiões do mundo, fazendo parte de um conjunto de atividades racionais e sistemáticas do conhecimento gerado por essa ciência.

Na reorientação das ações de assistência técnica e extensão rural, numa perspectiva que assegure a sustentabilidade socioambiental e econômica dos territórios rurais, é de fundamental importância que se alcance maior precisão nas definições e nos conceitos (CAPORAL, 2004).

Diversos autores já propuseram conceitos para os sistemas agroflorestais, no entanto não são conceitos novos, pois visam definir um conjunto de práticas de manejo de solo e de culturas já bastante utilizadas em regiões tropicais e subtropicais (MACEDO, 2000).

De acordo com Medrado (2000), o termo sistema agroflorestal usado na literatura tem como base de demarcação e definição os aspectos biológicos, econômicos e sociais, o que os torna uma prática atrativa de promoção do desenvolvimento sustentável. Acrescentando a conceituação de Raintree (1987), um sistema agroflorestal pode ser considerado um tipo de sistema de uso da terra, específico de um local e descrito em conformidade com sua composição biológica e arranjo, o nível técnico de manejo ou as características socioeconômicas.

Segundo Nair (1989), citado por Macdicken e Vergara (1990), os sistemas agroflorestais apresentam-se como um tipo de uso da terra que envolve manutenção, introdução ou mistura de árvores, ou outros cultivos perenes em sistemas de produção culturas/animais, gerando benefícios resultantes de interações econômicas e ecológicas entre esses componentes.

Montagnini et al. (1992) acrescentam que, nos sistemas agroflorestais, deve-se incluir, pelo menos, uma espécie florestal arbórea ou arbustiva, que pode ser combinada com uma ou mais espécies agrícolas e/ou animais.

Para se alcançar a sustentabilidade na produção florestal, agrícola e animal, Macedo et al. (1999) salientam que a combinação entre as espécies deve ocorrer de forma científica, ecologicamente desejável, praticamente factível e socialmente aceitável pelo produtor rural.

Dessa forma, podem-se considerar os sistemas agroflorestais sustentáveis. No entanto, Carrere (1992) relata que nem todas as formas de sistemas agroflorestais podem atender a esse pressuposto. O simples fato de associar espécies, com ou sem animais, não é garantia de sustentabilidade, visto que as interações entre os componentes lenhosos e não-lenhosos e o meio onde foram implantados tanto podem ser positivas como negativas. A sustentabilidade é segundo Nair (1993), considerada como a manutenção da produção através do tempo, sem que ocorra a degradação da base natural da qual depende.

A Embrapa Floresta define os sistemas agroflorestais como um sistema de manejo sustentado da terra, que gera aumento no seu rendimento, combinando a produção de espécies florestais com cultivos agrícolas e/ou animais, simultânea ou consecutivamente, de forma deliberada, na mesma unidade de terreno, envolvendo práticas de manejo em consonância com a população local (MEDRADO, 2000).

Em geral, os sistemas agroflorestais representam um conjunto de técnicas alternativas de uso e manejo dos recursos naturais, num entendimento mais holístico, que visualize as inter-relações de alguns fatores, como o clima, o solo, a vegetação e o homem. Essas técnicas implicam a combinação de espécies florestais, fornecedoras de bens e serviços, com culturas agrícolas de ciclos de produção variáveis, com atividades pecuárias, ou com ambas,

Seqüestro de Carbono

numa mesma área, de maneira simultânea ou escalonada no tempo e no espaço, temporária ou permanentemente.

Segundo Leite e Virgens (2002), os sistemas agroflorestais são sistemas de produção que apresentam limites, componentes, interações, entradas e saídas, e uma relação hierárquica e dinâmica. Por terem limites, podem-se definir as suas bordas físicas: os componentes são os elementos físico, biológicos e socioeconômicos; as entradas correspondem aos inputs em energia, mão-de-obra e insumos; as saídas são exportações devidas às colheitas, sendo essas formas de energia trocadas entre diferentes sistemas; as interações são as relações de energia ou matéria entre os componentes de um sistema; a hierarquia indica a posição do sistema em relação a outros e suas interações.

Nesse contexto, os sistemas agroflorestais podem ser considerados como uma das alternativas de manejo racional dos recursos naturais renováveis, que equacionam os principais problemas da agricultura e de seus impactos negativos sobre o meio ambiente, assim como oferecem possibilidades de se direcionarem as atividades nas propriedades rurais para diversificar produção e produtos, diluindo os riscos e a vulnerabilidade de um único segmento de negócio.

OBJETIVOS

Segundo Macedo e Camargo (1994), os sistemas agroflorestais objetivam otimizar a produção por unidade de terreno, respeitando sempre o princípio de rendimento contínuo, principalmente por meio da conservação do potencial produtivo dos recursos naturais renováveis

O propósito é promover uma sinergia entre os componentes do sistema, a qual conduz à melhoria de uma ou várias características, como a produtividade e a sustentabilidade, bem como diversos benefícios ambientais e não-comerciais.

Para que esses objetivos sejam alcançados, é necessário que a combinação de espécies e os arranjos espacial e temporal dos sistemas agroflorestais promovam a concretização dos seguintes pré-requisitos, considerando a *produtividade, a sustentabilidade e a adotabilidade*: manter-se sustentável; conferir sustentabilidade aos sistemas agrícolas; aumentar as produtividades animal e vegetal; direcionar técnicas para o uso racional do solo e da água; diversificar a produção de alimentos; estimular a utilização de espécies para uso múltiplo; diminuir os riscos do agricultor; amenizar os efeitos dos fatores de produção; minimizar os processos erosivos; e combinar com a estrutura social uma infra-estrutura adequada, disponibilidade de mercado e adequabilidade dos insumos, reunindo experiência rural dos agricultores e conhecimento científico.

ASPECTOS ECOLÓGICOS DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS

No que tange ao desenvolvimento da agricultura sustentável, Harwood (1990), citado por Sands e Podmore (1997), exemplifica com ações gerais que se subordinam à sustentabilidade:

- a) proporcionar aumento na produtividade, salvaguardando a capacidade inerente do solo por meio da manutenção da matéria orgânica, das rotações de culturas e da ciclagem de nutrientes;
- b) mitigar os impactos no meio ambiente, protegendo águas superficiais e subterrâneas ou eliminando o uso de pesticidas e fertilizantes sintéticos;
- c) garantir a capacidade de sobrevivência contínua, minimizando as perdas de solo, reduzindo o uso de energia proveniente de combustível fóssil e mantendo a diversidade genética, a rentabilidade e a estrutura das comunidades.

Em comparação com os monocultivos, os sistemas agroflorestais se assemelham mais aos sistemas naturais, pois estes enfatizam a biodiversidade e o uso racional dos recursos naturais. Nesse sentido, Dantas (1994) afirma que a estabilidade ou sustentabilidade ecológica parece ser a característica mais importante dos sistemas agroflorestais, pois a perenidade implica o uso permanente da mesma área, o que contribuiu para a manutenção de certa estabilidade do recurso.

Os sistemas agroflorestais baseiam-se no princípio ecológico denominado *biodinâmica da sobrevivência*, que promove a otimização e o máximo aproveitamento da energia solar vital, utilizando grande biodiversidade de espécies de uso múltiplo, multiestratificado ao longo dos perfis vertical e horizontal da paisagem, visando à recirculação dos potenciais produtivos dos ecossistemas (MACEDO, 1993).

Assim, pode-se considerar a cobertura vegetal um ponto importante na estabilidade das áreas, e ela depende diretamente da radiação, da água e de nutrientes.

A radiação é um fator pouco influenciado pelo homem, embora se possa planejar o uso da terra com a identificação de ambientes ideais para cultivo, favorecendo melhor ocupação do “site”, em conformidade com o comportamento ecofisiológico das espécies, respeitando sempre as suas demandas nutricionais, hídricas e lumínicas.

A interação entre os três fatores, fertilidade do solo e disponibilidade de água e luz pode ser facilmente entendida, pois, semelhante ao que ocorre em uma floresta tropical, nos sistemas agroflorestais a maior parte dos nutrientes pode estar localizada na biomassa dos vegetais vivos, mais protegidos dos processos erosivos e da lixiviação. A liberação desses nutrientes, geralmente mais acelerada em regiões quentes e úmidas, ocorre com a queda e decomposição de folhas, frutos, ramos e raízes das plantas. A influência da

Seqüestro de Carbono

planta na fertilidade do solo, em curto prazo, está relacionada com a decomposição das folhas e a formação da liteira e, em longo prazo, com a decomposição das raízes e consequente melhoria na estrutura do solo.

A Figura 1, a seguir, permite a comparação de um ecossistema florestal, um sistema agrícola convencional de monocultivo e um sistema agroflorestal, enfocando os processos que contribuem para a conservação e a reciclagem de nutrientes, evitando as perdas inerentes a cada um (MACEDO, 2000).

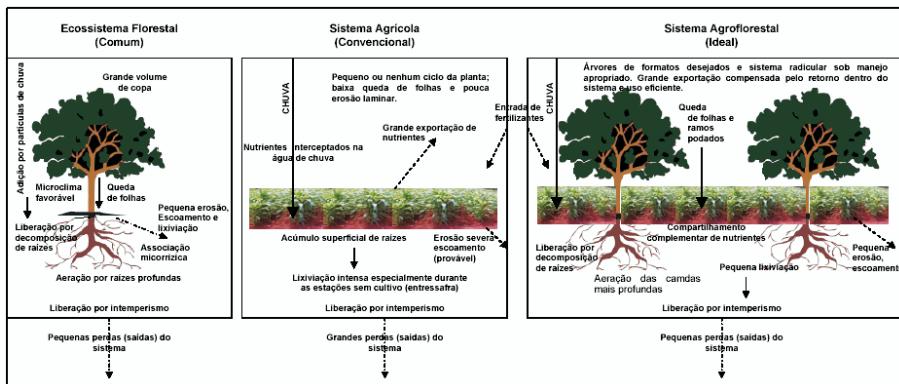


Figura 1 - Esquema comparativo de um sistema agroflorestal com um sistema agrícola convencional e um ecossistema florestal (Adaptado de MACEDO, 2000).

A cobertura do solo proporcionada pela estratificação do dossel de copas e pela camada de material orgânico, depositada sobre a superfície do solo, contribui para reduzir a infestação de plantas invasoras, uma vez que a ocorrência destas está intimamente relacionada com a incidência direta de radiação solar sobre o solo.

Para desenvolver áreas rurais nos trópicos úmidos e buscar a sustentabilidade dos sistemas produtivos, resultantes da diversidade biológica

que explora nichos diversificados, os sistemas agroflorestais se destacam como uma das técnicas mais ambientalmente adequadas. As diferentes espécies vegetais utilizadas como componentes desses sistemas formam uma estratificação diferenciada de dossel de copas e de sistema radicular das plantas no solo.

A copa e o fuste das árvores podem proporcionar proteção física às demais espécies arranjadas no sistema, reduzindo a velocidade do vento e o impacto da chuva sobre a superfície do solo. A redução da velocidade do vento, além de diminuir as perdas diretas do solo, contribui para a redução da evaporação da umidade do solo. Uma das consequências do controle da erosão hídrica é o aumento da infiltração de água no solo, com maior aproveitamento da água das chuvas. Além disso, verifica-se melhora na porosidade do solo com a decomposição de parte das raízes das árvores (NAIR et al., 1984).

Segundo Macedo (2000), o dossel de copas formado pela diversidade de espécies vegetais proporciona maior cobertura do solo por meio da deposição de densa camada de material orgânico, gerada continuamente pela queda de folhas e ramos das diferentes culturas, melhora nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, maior disponibilidade de água no solo devido ao aumento da proteção contra erosão, à diminuição do escorramento superficial, ao tempo maior de infiltração da água, à redução da temperatura do solo e ao aumento na quantidade de matéria orgânica.

As modificações microclimáticas mais importantes que as árvores promovem em áreas sob sua influência são redução da temperatura do ar e do solo e manutenção de maior teor de umidade no solo. Essas alterações nas condições ambientais do solo e na interface solo-liteira sob a copa das árvores têm efeitos positivos nas atividades biológicas do solo, como aumento da mineralização de N em pastagens sombreadas, em comparação com as não-sombreadas (HANG et al., 1995).

A literatura especializada relata enriquecimento do solo em áreas sob a influência de copa de árvores. As espécies arbóreas, com suas raízes mais longas, exploram maior volume de solo, aproveitando os nutrientes que estão nas camadas mais profundas, fora do alcance das raízes de outras culturas, cujas raízes absorventes ficam na camada superior do solo, de 0 a 20 cm de profundidade.

O processo de decomposição e posterior mineralização, ocasionada pela deposição de folhas e ramos das espécies arbóreas, permite ainda, por meio da reciclagem de nutrientes, devolvê-los à superfície do solo, principalmente aqueles que são facilmente lixiviados.

Segundo Joffre et al., citado por Carvalho et al., (2002), aumentos significativos nos teores de P, K e outros nutrientes foram observados em amostras de solo coletadas sob a copa de árvores, em relação àquelas coletadas em áreas de pastagem sem árvores.

Kellman (1979) observou aumento nos teores de Ca, Mg, K, Na, P e N em solo sob copas de árvores e arbustos das savanas de Belize, comprovando a potencialidade das espécies lenhosas de melhorar química e fisicamente os solos tropicais.

Como uma forma de aumentar a incorporação de nutrientes no sistema, por meio da biomassa das árvores, sugere-se a introdução de espécies leguminosas arbóreas de origens tropical e subtropical, que possuam a capacidade de fixar o nitrogênio do ar atmosférico. A fixação do N ocorre em função da interação simbiótica com bactérias do gênero *Rizobium*. Macedo (2000) relata que são conhecidas cerca de 650 espécies com essa capacidade.

O sistema agroflorestal, que tem como componentes as espécies arbóreas e a pastagem, mantém-se num estado dinâmico e responde às variações de fatores extrínsecos, como clima e pastejo, que lhe são aplicadas (GARCIA e COUTO, 1997). A Figura 2 representa os componentes do sistema e suas inter-relações.

Seqüestro de Carbono

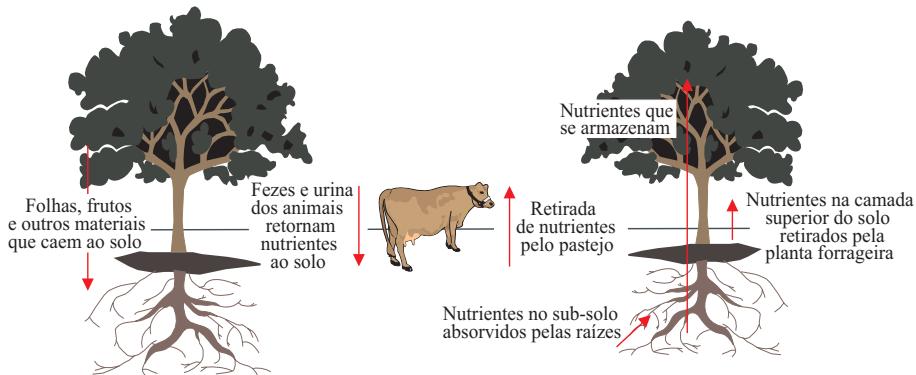


Figura 2 - Representação diagramática de componentes de um sistema agroflorestal (Adaptado de GARCIA et al., 2003).

Como parte dos componentes de entrada no sistema, destacam-se a chuva, a radiação e o nitrogênio atmosférico. As saídas do sistema ocorrem com o pastejo dos animais, a colheita das árvores e as perdas ocasionadas pelo processo erosivo e pela lixiviação. As interações entre os componentes são de grande importância, pois respondem pelo êxito do sistema e fornecem os pontos de intervenção para o manejo.

O aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo, em sombreamento natural, decorre do efeito conjunto da sombra e da reciclagem de nutrientes proporcionado pelas árvores. Portanto, a arquitetura e as características das árvores têm efeito marcante sobre a quantidade de nitrogênio e de outros nutrientes a serem disponibilizados no solo da pastagem (CARVALHO et al., 2002).

Conforme apresentado nas pesquisas de Mott e Popenoe (1977), Haynes e Williams (1993), Moraes e Lustosa (1997), citados por Franke e Furtado (2001), nos ecossistemas pastoris, o papel dos herbívoros merece destaque como aceleradores do processo de ciclagem de nutrientes, uma vez que grande

parte da biomassa forrageira consumida por eles retorna ao solo sob a forma mais degradada (fezes e urina). Os pesquisadores afirmam que até 90% dos nutrientes minerais, inclusive o N, encontrados na forrageira consumida pelos animais em pastejo podem retornar à interface solo-planta.

Carvalho et al. (1994) verificaram que a ocorrência de diversas espécies arbóreas, a maioria leguminosas, em pastagens de *Brachiaria decumbens* e *B. brizantha*, formadas em solos de baixa fertilidade natural, resultou em aumento da quantidade de nitrogênio nas folhas verdes de gramíneas e na serrapilheira, nas áreas sob a influência das árvores.

De modo geral, em pastagens arborizadas, o efeito do sombreamento, ou seja, o aumento da disponibilidade de nitrogênio para as forrageiras, é mais significativo quando há deficiência desse elemento no solo.

VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Quanto às vantagens dos sistemas agroflorestais, Macedo (2000) resumidamente relata que o manejo adequado da composição e da estrutura desses sistemas permite potencializar algumas das suas vantagens intrínsecas, principalmente aquelas relacionadas com os aspectos biológicos e físicos da natureza:

- a) são muito similares aos padrões ecológicos naturais de estratificação e diversificação das espécies na natureza. A heterogeneidade dos seus componentes resulta em maior segurança para o produtor, reduzindo os riscos de perda de produção;
- b) possibilitam melhor utilização dos perfis da paisagem e da energia solar, promovendo a exploração racional dos recursos naturais disponíveis com a combinação de espécies que apresentam diferentes demandas hídricas, nutricionais e de luminosidade;

Seqüestro de Carbono

- c) favorecem a recirculação mais eficiente dos nutrientes no ecossistema, melhorando o potencial produtivo das terras e a fertilidade do solo;
- d) possibilitam a fixação e incorporação de N ao ecossistema, com a utilização de leguminosas;
- e) contribuem para maior fixação de carbono. Segundo Tsukamoto Filho (2003), a quantidade de carbono fixado em um sistema agrissilvipastoril, composto por eucalipto, arroz, soja e pastagem, foi maior do que a fixada nos monocultivos de eucalipto plantado nos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m, que nos monocultivos de arroz e soja e que a pastagem a céu aberto, sendo, então, uma ótima opção para projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil;
- f) permitem controle eficiente dos processos erosivos e maior rendimento das adubações, auxiliando na conservação do solo e no melhoramento de sua fertilidade. Vários tipos de sistemas radiculares exploram diferentes áreas e profundidades do solo, o que determina melhor aproveitamento dos corretivos e fertilizantes aplicados. As culturas agrícolas beneficiam-se com o enriquecimento do solo por meio da reciclagem mineral dos nutrientes, com a incorporação gradativa de biomassa das árvores;
- g) estimulam os mecanismos de controle biológico pela maior diversidade de espécies, pelo equilíbrio ecológico entre as populações de pragas e inimigos naturais disponíveis (LUNZ e FRANKE, 1998);
- h) funcionam como tutores ou suporte para plantas trepadeiras de valor econômico, como o maracujá (*Passiflora edulis* Sims.), a pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.), o cará (*Dioscorea* spp.) e a uva (*Vitis* spp.);

Seqüestro de Carbono

- i) proporcionam maior produtividade global por unidade de superfície, ou seja, maior eficiência na otimização do uso dos recursos, quando comparados com monocultivos;
- j) funcionam como redutores da amplitude de variação de temperatura e umidade, pois as árvores promovem maior cobertura do solo, protegendo-o contra a radiação solar direta durante o dia e perda de energia durante a noite (JACKSON, 1989), resultando em maior disponibilidade de água e incremento na mineralização do N.

Em relação aos aspectos econômico-sociais advindos da exploração dos sistemas agroflorestais, Montagnini (1992), citado por Macedo (2000), destaca as seguintes vantagens:

- a) as árvores constituem um “capital em pé”;
- b) evitam os riscos característicos do monocultivo em razão de melhor ocupação do “site”. Com a diversidade de produção, aumenta-se a de serviços e produtos florestais. A diversidade de cultura reduz o impacto econômico de flutuações no preço de um único produto, que pode ser afetado por condições desfavoráveis de produção ou de mercado;
- c) a demanda de mão-de-obra é pouco afetada e permite maior flexibilidade na sua distribuição;
- d) contribuem para amortizar os custos de implantação e formação de floresta, pois a renda obtida inicialmente com as culturas agrícolas ou animais, durante o período de imaturidade das espécies arbóreas, ajuda a viabilizar os empreendimentos florestais;
- e) possibilitam aumento de receita com a diversificação de espécies e acréscimo na produtividade. A diversificação de espécies permite que a entressafra de certas culturas coincida com a safra de outras,

obtendo-se, assim, produtos diferentes e de forma escalonada. O aumento da receita pode ser obtido também com a redução de custos, uma vez que esses sistemas conferem maior eficiência no aproveitamento dos insumos e permitem a eliminação ou a redução de algumas práticas culturais, como capinas e controle fitossanitário. Baggio (1983) relata que o pastoreio dois anos antes da implantação florestal promove redução de até 50% nos custos de limpeza das áreas, além de controlar a disseminação de sementes de plantas invasoras;

- f) permitem melhorar a alimentação humana com o aproveitamento integral dos vários produtos obtidos neles. Portanto, é uma atividade de grande interesse social, de resultado econômico e de plena realização profissional.

Além dessas vantagens, que, em conjunto, contribuem para diminuir o êxodo rural e melhoria da qualidade de vida dos agricultores, pode-se dizer que a longevidade desse sistema de produção é superior à de cultivos agrícolas anuais perenes.

Por esse mesmo prisma, destacam-se como limitações os seguintes aspectos:

- a) a complexidade do manejo dos sistemas agroflorestais, quando comparados com o cultivo de espécies anuais ou de ciclo curto em monocultivo, aliada à falta de tradição dos agricultores, pode tornar difícil sua implantação e extensão;
- b) alguns sistemas podem necessitar de muita mão-de-obra em seu manejo, o que pode se agravar com a diversificação dos tratos culturais e silviculturais, bem como com a exigência de técnicas apropriadas e desconhecidas pelos agricultores;

- c) a diversidade de espécies com diferentes portes e arranjos espaciais pode dificultar a mecanização na área;
- d) a recuperação econômica do capital investido pode demorar muito tempo. A produção florestal normalmente requer alto investimento inicial e o retorno só vem a longo prazo;
- e) a exportação de nutrientes com as colheitas pode ser excessiva.

Neste contexto, vários autores relatam que os principais fatores que limitam a plena expansão e utilização racional dos sistemas agroflorestais estão necessariamente ligados à carência de estudos que comprovem sua viabilidade econômica, a qualificação de pessoal técnico para a instalação e manejo adequado, e a divulgação técnica de suas potencialidades nos órgãos responsáveis pela definição das prioridades da política florestal brasileira (OLIVEIRA et al., 1996).

CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Esses sistemas têm sido classificados de diferentes maneiras, conforme os arranjos espacial e temporal, a importância relativa e a função dos seus componentes, assim como os objetivos da produção e suas características sociais e econômicas (MACEDO et al., 2000).

Os componentes dos sistemas agroflorestais podem encontrar-se distribuídos no tempo de forma seqüencial, com uma relação cronológica entre si, ou uma relação simultânea, associados uns aos outros na área considerada, ao mesmo tempo.

Segundo Nair (1990), a classificação dos sistemas agroflorestais mais difundida é aquela que considera a natureza dos seus componentes (Figura 3), agrupando-se em três categorias: *sistemas silviagrícolas*, *sistemas silvipastoris* e *sistemas agrissilvipastoris*.

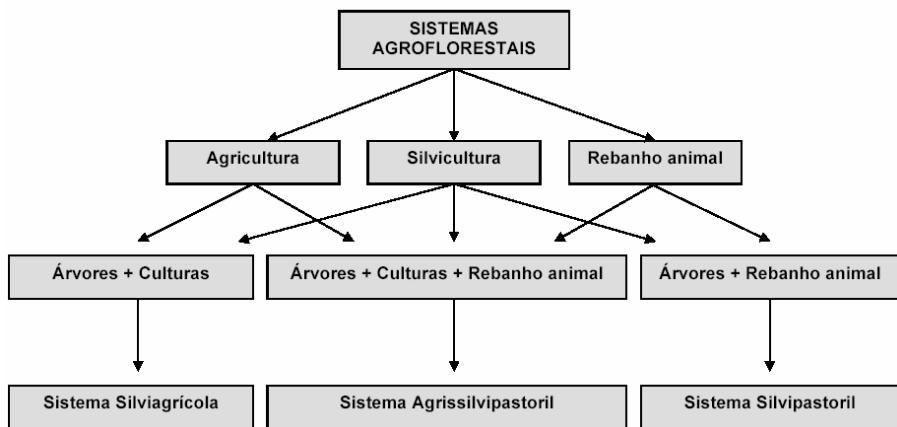


Figura 3 - Representação diagramática da classificação dos sistemas agroflorestais de acordo com a natureza de seus componentes.

Sistemas silviagrícolas

Correspondem a sistemas de manejo do solo para o cultivo simultâneo de *culturas agrícolas* e *espécies florestais*, com função de produzir bens (produtos) e serviços (quebra-ventos, cercas vivas, sombreamento de cultivos, conservação do solo, etc.).

A associação entre os componentes pode ocorrer de forma *temporária*, quando o cultivo agrícola dura menos do que uma rotação do componente florestal, e *permanente* quando o cultivo permanece ao longo de uma ou mais rotações do componente florestal.

Outro fator que merece destaque na interpretação desse sistema é a distribuição espacial do componente florestal, podendo ocorrer de forma *regular*, quando as espécies florestais estão alocadas e distribuídas na área seguindo

Seqüestro de Carbono

um espaçamento pré-definido, e *irregular* quando elas se encontram dispostas e distribuídas de forma aleatória em relação às culturas agrícolas.

Sistemas silvipastoris

É a associação de pastagens, animais e árvores. Segundo Garcia et al. (2003), três situações podem ser identificadas nesse sistema: *pastejo do sub-bosque natural em florestas e outras vegetações naturais* - os animais são introduzidos em florestas e em áreas com outros tipos de vegetação natural, para o aproveitamento de sub-bosque, visando proporcionar sombra aos animais, além de beneficiar o pasto e conservar o solo; *pastejo em pasto introduzido em floresta plantada* - espécies forrageiras cultivadas sob árvores de floresta plantada com os mesmos objetivos da situação anterior; e *pasto complementar, formado por espécies arbóreas forrageiras* - fornece aos animais a chance de completar a sua dieta básica, normalmente de extrato herbáceo, com espécies arbóreas.

Segundo Veiga e Serrão (1990), citados por Garcia et al. (2003), os sistemas silvipastoris são classificados em *eventuais*, em que a associação árvore-pasto-animal acontece em determinado momento de uma exploração arbórea ou pecuária convencional; incluem-se também nesta categoria os sistemas silvipastoris que evoluíram de pastagens convencionais, com a regeneração natural das árvores úteis ou com o plantio de mudas de espécies arbóreas; são *verdadeiros* quando o componente arbóreo, o pasto e os animais são considerados integrantes do sistema desde o planejamento, coexistindo na associação dentro de determinado nível de participação; são plantios regulares, feitos nos espaçamentos ou em densidades próprias, em que a possibilidade de supressão de um componente por outro é deliberadamente reduzida.

Sistema agrissilvipastor

Caracterizados pela associação de espécies arbóreas ou arbustos e cultivos agrícolas e animais.

SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM SERINGUEIRA

Justificativas

O Brasil, berço do gênero *Hevea*, continua sendo importador de borracha natural, pois de primeiro e único exportador de borracha natural, no início do século XX, passou a importador de 63% do seu consumo interno, produzindo somente 1% do total mundial. Cerca de 80% da produção mundial é proveniente de pequenas propriedades rurais do sudeste asiático (Tailândia, Indonésia e Malásia). Para um país como o Brasil, que possui, em relação aos demais países produtores, área disponível incomparavelmente maior para o plantio de seringueira, o déficit de produção é uma importante limitação a ser superada, especialmente tratando-se de um produto estratégico de tão alto valor econômico-social (VENTURIN et al., 2004).

Na busca de alternativas mais consistentes e inspiradas em sistemas agrícolas sustentáveis, e que atendam as novas demandas impostas pelas mudanças globais, a heveicultura apresenta-se como uma opção estratégica para o País.

O modelo de agricultura intensiva, baseado principalmente na exploração de monoculturas, não tem proporcionado o equilíbrio econômico necessário ao bem-estar das populações rurais e urbanas, e, em contraste, tem contribuído para a degradação ambiental, dando origem a agroecossistemas muito instáveis, utilizados inadequadamente.

O monocultivo da seringueira tem sido normalmente observado na América Latina, na África e nos países citados anteriormente, em espaçamentos

que variam de 7 a 8 metros entre linhas e 2,5 a 3,0 metros entre plantas, num total de 400 a 500 plantas por hectare. Com espaçamento mais amplo nas entrelinhas, aumenta-se a área a ser manejada, com controle de plantas invasoras e de incêndios, tornando praticamente obrigatória a consociação da seringueira com culturas agrícolas, uma modalidade de sistema agroflorestal silviagrícola (PEREIRA et al., 1997).

O tempo necessário para que esses seringais possam se desenvolver e atingir a maturidade necessária ao sistema laticífero, de modo a permitir o início da extração comercial do látex, que ocorre após 6 a 8 anos, varia em função dos fatores de produção disponíveis e das práticas de manejo adotadas e aplicadas. Nesse estádio de desenvolvimento, com os espaçamentos citados, as copas das plantas já se encontraram totalmente e o sombreamento é intenso sob o dossel das seringueiras, não mais permitindo a associação com a maioria das espécies agrícolas. No entanto, dependendo do desenvolvimento do seringal, até o terceiro ou quarto ano, há espaço e luminosidade suficientes nas suas entrelinhas, tornando possível e recomendável a consociação com culturas agrícolas de ciclo curto. Para a consociação com culturas perenes, tornam-se necessários espaçamentos mais amplos e alguns dispositivos especiais de plantio da seringueira, para viabilizar o sistema e seus componentes (PEREIRA et al., 1997).

Com relação aos aspectos técnicos, as estruturas como raízes e parte aérea são de fundamental importância na seleção de espécies para a consociação, considerando a participação efetiva dos sistemas radiculares e da interceptação da luz nos processos de exploração do solo. Nesse sentido, a seringueira pode ser utilizada como componente de um sistema agroflorestal, consorciado com culturas anuais, perenes, semiperenes ou mesmo com leguminosas de cobertura (PEREIRA et al., 2000).

Segundo Ramos et al. (2000), a seringueira constitui componente potencial de um sistema agroflorestal, fornecedora de produto não-madeireiro, pois, em razão de sua longa imaturidade, o uso de cultivos intercalares propicia um aproveitamento mais racional do solo, além de reduzir os custos de implantação e manutenção. Os autores salientam que o interplantio de seringueira com leguminosas de cobertura é uma prática muito promissora, principalmente em áreas de maior declividade e/ou susceptibilidade à erosão hídrica e a solos de baixa fertilidade.

A adoção de um sistema agroflorestal com seringueira pode ser justificada tendo em vista os seguintes benefícios: redução dos custos de implantação e manutenção do seringal, maior eficiência na ciclagem dos nutrientes em razão de diferentes níveis de profundidade de exploração do solo pelo sistema radicular da seringueira e demais componentes do sistema, melhor aproveitamento da radiação luminosa incidente, maior cobertura do solo pelas partes aéreas e deposição do *litter* pelas plantas.

Em estudo desenvolvido na região noroeste do Paraná, Pereira et al. (2002) constataram efeito positivo do cafeiro como quebra-vento no crescimento inicial de clones de seringueira em parcelas consorciadas, em relação à altura das plantas, à circunferência do caule e à espessura da casca, superando quase duas vezes os valores obtidos pelos mesmos clones nas parcelas solteiras. Aos 24 meses de idade, constatou-se que parcelas consorciadas apresentaram 100% de plantas com formação natural de copa contra aproximadamente 50% daquelas em plantio solteiro, o que certamente refletiu na circunferência do caule e promoveu a diminuição do período de imaturidade do seringal, que começou a produzir aos cinco anos de idade.

Diante dessas considerações, sistemas agroflorestais têm sido recomendados principalmente para as regiões tropicais, onde os fatores climáticos, edáficos e biológicos geralmente não são favoráveis à monocultura de larga escala, como é praticada. Os sucessivos fracassos da heveicultura

na Amazônia são exemplos clássicos e incontestáveis desse fato (PEREIRA et al., 1997).

Condicionantes ecológicas e culturais

O sistema agroflorestal é um método que visa obter produções sustentáveis a longo prazo, o que só pode ser conseguido por meio de sistemas que utilizam tecnologias e normas de manejo que conservam e, ou, melhoram a base física e a capacidade sustentadora do agroecossistema. Resende (1982) sugere que o ambiente deve ser compreendido dentro de uma visão holística, denominada *tetraedro ecológico*, que permite visualizar, dentro de um contexto maior, as inter-relações de alguns fatores como o clima especialmente a chuva e a temperatura; o solo – suas características; a vegetação; e o homem – sua condição socioeconômica. O sucesso dos sistemas agroflorestais com seringueira exige uma análise criteriosa dos fatores climáticos, edáficos e nutricionais e das compatibilidades vegetativas e fitossanitárias, determinantes da escolha das espécies a serem consorciadas.

Fatores climáticos, edáficos e nutricionais

Segundo Carmo et al. (1990), um planejamento de uso da terra que envolva os sistemas agroflorestais deve embasar-se no conhecimento dos fatores bióticos e abióticos inerentes ao processo, para que se possa racionalizar, ao máximo, o uso de insumos e obter um retorno viável do empreendimento, além de permitir o uso permanente dos recursos naturais.

As regiões aparentemente homogêneas apresentam grande diversidade de ambientes descritos de forma bastante rica em detalhes. Nesse sentido, cada microrregião deve passar por um zoneamento, pois a interação de fatores é bastante dinâmica e os indicadores biológicos têm validade local e não geral.

Segundo o zoneamento agroclimático do Estado de Minas Gerais, principalmente as regiões centro-sul, leste, Triângulo Mineiro e noroeste apresentam-se aptas para o cultivo da seringueira (MACEDO et al., 1999).

Para a cultura da seringueira, Ortolani et al. (1983), citados por Pereira et al. (1998), apontam como preferenciais as áreas que apresentam temperatura média anual superior a 20°C, evapotranspiração real anual acima de 900 mm, deficiência hídrica anual de 0 a 200 mm e umidade relativa do ar inferior a 65% no mês mais seco do ano. Vale ressaltar que baixas temperaturas no inverno e secas prolongadas podem afetar a seringueira. No entanto, após o crescimento e aprofundamento do seu sistema radicular, verificam-se bons desenvolvimento e produção em áreas onde a deficiência hídrica pode atingir até 300 mm anuais. Esses autores relataram ainda que a seringueira jovem, até dois anos de idade, apresenta suscetibilidade à geada, mostrando-se mais tolerante depois desta idade.

A busca pela auto-suficiência em borracha natural expandiu-se para a Região Sul do País, no noroeste do Paraná, área com excelente potencial para o cultivo em razão do clima predominantemente subtropical úmido e mesotérmico (Cfa, segundo Köppen), verões quentes, baixa freqüência de geadas, temperatura média anual de 22° C e precipitação anual de 1.500 mm, mais concentrada no verão.

O estudo dos princípios da captação de recursos pelos sistemas agroflorestais é útil na análise de desempenho das culturas envolvidas, em várias condições de clima e manejo (ONG et al., 1996), ou seja, como os sistemas agroflorestais utilizam os recursos disponíveis é fundamental para o estabelecimento de combinações, arranjos temporais e espaciais de espécies, densidade de plantio e manejo adequado para diferentes localidades.

Para a escolha das culturas agrícolas e dos cultivares a serem consorciados com a seringueira, deve-se considerar a adaptação de cada um

às condições edafoclimáticas locais, principalmente quanto à topografia, ao topoclima e às propriedades físicas do solo.

Segundo Lani et al. (2003), a seleção das espécies consorciadas com a seringueira e o arranjo espacial são de suma importância, pois a cobertura vegetal depende diretamente da radiação, da água e de nutrientes. Esses três fatores dependem diretamente do solo. A radiação, além dos aspectos de latitude, é influenciada, nas regiões montanhosas, pelo sombreamento feito pelos morros laterais. Logo, a face do morro deve ser observada. Podem-se observar diferenças significativas em áreas de região montanhosa, onde, dependendo da altitude, escolhe-se, por exemplo, a área para o plantio de espécies tolerantes à sombra nas faces menos ensolaradas, pois, assim, disponibiliza-se mais água para as plantas, promovendo menor perda por evapotranspiração.

Oliveira et al. (2004) verificaram a evolução da altura e do diâmetro das plantas de seringueira consorciadas com cafeeiro. Observaram que a taxa de crescimento, independente do sistema de cultivo, durante a estação chuvosa (outubro a março), foi maior que no período seco (abril a junho). As plantas do consórcio tipo renque apresentaram maior altura do que aquelas dos outros sistemas de cultivo. Essas diferenças podem estar associadas à posição das plantas no terreno, o que pode possibilitar maior exposição à radiação solar, menor exposição ao vento e favorecer o seu crescimento. Esses resultados permitiram inferir que as menores taxas de crescimento observadas entre abril e junho são associadas à menor disponibilidade de água no solo e à queda da temperatura, característica desse período, que reduzem o metabolismo das plantas. Efeitos mais acentuados surgem quando a menor disponibilidade de radiação está associada a condições limitantes de oferta de água no solo.

Sabe-se que qualquer cultura, durante o seu ciclo de estabelecimento, consome grande volume de água, e 98% desse volume apenas passa pela

Seqüestro de Carbono

planta, perdendo-se posteriormente na atmosfera pelo processo de transpiração (PINHEIRO et al., 2003).

Os nutrientes dos solos tropicais, na sua grande maioria, concentram-se no horizonte superficial (horizonte A), onde também estão as raízes absorventes da seringueira. Logo, a precipitação pluviométrica e os nutrientes são os fatores mais diretamente ligados à cobertura vegetal, identificada em ambientes distintos como as áreas mais altas, com clima mais ameno, solos extremamente pobres e intemperizados; e nas áreas mais baixas, com clima mais seco e quente, predominando os solos mais porosos e férteis, normalmente onde houve o rejuvenescimento da paisagem.

Conciliar esses três fatores (vegetação, clima e solos) não é fácil. Na prática, percebe-se que, para a seringueira, os solos devem apresentar boas propriedades físicas, sendo bem estruturados, com textura de média a argilosa, profundos, bem drenados, ligeiramente ácidos (pH 4,5 a 5,5) e em altitudes de até 600 m.

De maneira geral, para a implantação de um sistema agroflorestal com seringueira, deve-se aplicar o modelo de consociação em áreas que apresentam relevo favorável, solos bem profundos e bem drenados, evitando, com isso, os danos que normalmente são causados ao plantio da seringueira quando estabelecido em áreas de baixada e/ou com impedimentos físicos.

No Quadro 1 são apresentadas as características de alguns dos principais solos brasileiros.

Quadro 1. Características gerais das principais classes de solos

Classe	Características
Latossolos	Muito profundos, porosos, friáveis, com uniformidade textural e estrutural ao longo do perfil. Na sua maioria, são pobres em nutrientes e requerem fertilização. Facilitam o desenvolvimento radicular e a infiltração de água. A exceção é o Latossolo Amarelo Coeso, que ocorre em tabuleiros costeiros e apresenta alta coesão na parte superior do horizonte B.
Argissolos (antigos podzólicos)	Medianamente profundos, com diferença textural marcante e menor proporção de macroporos. Secam mais lentamente. Têm estrutura em blocos, normalmente são mais férteis. Deve-se ter cuidado na abertura de covas, para evitar o espelhamento na parte argilosa (horizonte B).
Cambissolos	São raros, com pequena profundidade efetiva (horizonte B menor que 50 cm).
Neossolos Flúvicos (Aluviais)	Conhecidos como várzeas, ocorrem ao longo das margens dos rios. São inundáveis no período das cheias.

Fonte: Adaptado de PINHEIRO et al. (2003).

Melhor desenvolvimento e níveis de produção têm sido observados em seringais cultivados em solos mais férteis ou com a adição de fertilizantes.

Em estudo realizado por Carvalho et al. (1991), em área anteriormente de cerrado, com Latossolo Vermelho-Amarelo, constatou-se resposta significativa à calagem no desenvolvimento inicial da seringueira. De acordo com Pereira et al. (1998), a calagem para a seringueira tem sido pouco estudada e seu uso bastante controvérsio, sendo, portanto, recomendada apenas pelo

Seqüestro de Carbono

fornecimento de Ca e Mg. Os mesmos autores salientam a necessidade do Ca no fertilizante fosfatado.

Alguns autores citados por Carvalho et al. (1991) relataram que a calagem, aliada a outros fatores, é indispensável para o sucesso da heveicultura, pois as plantas evidenciam distúrbios nutricionais quando o nível de Al se eleva.

Em estudo sobre a situação nutricional dos seringais do Estado de São Paulo, Bataglia e Cardoso (1987), citados por Pereira et al. (1998), constataram que a saturação por bases nos solos estudados variou de 11% a 59%. Os seringais com maior percentagem de plantas aptas à sangria e com maior produtividade em solos são aqueles cuja saturação por bases é superior a 30%. No entanto, Cardoso (1985) recomenda a calagem para a cultura da seringueira no Estado de São Paulo, para elevar a saturação por bases para 50%.

No caso da consorciação da seringueira com outras culturas num sistema agroflorestal, a calagem deverá ser realizada para elevar a saturação por bases para, no mínimo, em torno de 50%.

Compatibilidade vegetativa

A seringueira é classificada como uma planta heliófila, considerada um eficiente sistema conversor de energia solar em carboidratos. Dessa maneira, a consorciação bem planejada, com espécies tolerantes à sombra, que apresentam taxa fotossintética substancialmente superior àquelas mantidas em plena luz solar, como o cafeeiro, certamente poderá contribuir para a manutenção da luz e temperatura em níveis adequados para melhor desenvolvimento e produção das plantas.

A seringueira (*Hevea brasiliensis* e *H. guianensis*) pode atingir até 50 m de altura e até 1,5 m de diâmetro do caule, porém, em cultivos comerciais, raramente passa de 25 m de altura (GONÇALVES et al., 1990).

As plantas consorciadas com a seringueira devem constituir diferentes estratos de parte aérea e sistema radicular, tanto no sentido vertical como horizontal, explorando de forma mais eficiente a energia solar vital e os recursos edáficos disponíveis. Um outro fator a ser considerado é a necessidade de não haver efeito alelopático entre as espécies consorciadas (PEREIRA et al., 1997). Esses autores destacam a necessidade de indicações técnicas que contemplem a adoção de espaçamentos em sistemas agroflorestais com seringueira, respeitando-se um afastamento no mínimo igual ao seu próprio espaçamento entre linhas, em relação às linhas de seringueira, de modo a minimizar os efeitos de competição inicial entre elas e facilitar os tratos culturais, principalmente se forem mecanizados.

Em estudo comparativo da produção do cafeiro em sistema agroflorestal, em aléia de seringueira e em monocultivo, na região de Piracicaba-SP, Lunz et al. (2004) constataram que, nas condições estudadas (clima local mesotérmico Cwa, com verão chuvoso e estiagem no inverno, temperatura média anual de 21,4°C e precipitação média anual de 1272 mm), houve maior uniformidade de maturação dos frutos do cafeiro nas plantas que tiveram sombreamento mais intenso. O excesso de sombreamento, porém, prejudicou significativamente a produtividade. Verificou-se então que 20% de sombreamento pode ser adequado para o cafeiro, pois, além de propiciar os benefícios da arborização, não afeta sua produtividade.

O sistema radicular da seringueira é do tipo pivotante e bem desenvolvido, podendo atingir, na sua fase adulta, a profundidade de 10 m e expandir-se de 6 a 9 m de distância do tronco. No entanto, a maioria do sistema radicular absorvente concentra-se nos 40 cm superficiais (MORAES, 1977). Assim, no sistema agroflorestal de seringueira com cafeiro, faz-se necessária a adubação visando a nutrição adequada das duas culturas, pois ambas possuem os sistemas radiculares absorventes na mesma camada superficial do solo. Vale ressaltar, neste caso, que o sistema radicular da seringueira é bem mais

desenvolvido que o do cafeiro e que, embora a maior concentração desse sistema seja superficial, ainda há grande volume de raízes explorando água e nutrientes em camadas mais profundas, sobretudo devido a sua maior tolerância às condições químicas desfavoráveis dessa camada não corrigida quimicamente. Quanto à exigência hídrica, não foi constatada competição da seringueira com o cafeiro (PEREIRA et al., 1998).

Righi et al. (2002) constataram que a competição abaixo do nível do solo, entre as plantas de um sistema agroflorestal de seringueira e feijoeiro, ocorre mesmo com alta disponibilidade de água e luz. O efeito da competição no rendimento do feijoeiro é proporcional ao da massa de raízes da seringueira e da proximidade do tronco das árvores, que atuam no sistema de modo a sobrepor suas demandas em relação à da cultura associada. A quantidade de raízes da seringueira diminuiu com o aumento da distância perpendicularmente ao renque das árvores, e a partir de 7,5 m a quantidade de raízes foi muito pequena. Foi constatado que a maior concentração de raízes da seringueira (90%) está na camada de 0 a 40 cm de profundidade, enquanto a grande maioria das raízes do feijoeiro encontra-se a uma profundidade de 20 cm, bem próxima da camada arável. Apesar de a quantidade de raízes de seringueira ser muito pequena, a partir de 6 m de distância das árvores, a competição abaixo do nível do solo por água e nutrientes fez-se notar até uma distância superior.

No sistema agroflorestal com seringueira, deve-se evitar o plantio intercalado de milho, girassol, mandioca, mamona e de outras de porte mais alto que a seringueira, no primeiro ano, quando as mudas ainda estão pequenas, pois são mais esgotantes e competitivas por luz. Essas culturas devem ser intercaladas do segundo ano em diante e à distância de pelo menos 1,5 m das seringueiras (PEREIRA et al., 1997).

Compatibilidade fitossanitária

A expansão da área de florestas de seringueira plantadas no Brasil, a partir do seu habitat amazônico, ocorreu para as chamadas áreas de “escape”, localizadas nos Estados de São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Bahia, ou seja, áreas sem problemas com doenças foliares, em especial o mal-das-folhas, causado pelo fungo *Microcyclus ulei*.

A seringueira tem sido explorada com sucesso, quando consorciada com cacaueiro em sistemas contínuos, no sudeste da Bahia, desde a década de 70, principalmente promovendo a redução do estande inicial provocado pela incidência severa do mal-das-folhas. Em regiões onde não existem doenças foliares ou essas doenças podem ser economicamente controladas, devem-se adotar outros modelos de sistemas agroflorestais, como os sistemas sazonais, para viabilizar técnica e economicamente a consociação (MÜLLER et al., 2002).

No modelo de consociação proposto por Marques et al. (2004), em que a eritrina é substituída pela seringueira em um sistema agroflorestal contínuo com cacaueiro, na Bahia, para a exploração econômica do seringal, atenção especial deve ser dispensada ao tratamento preventivo de doenças fúngicas, em especial aquelas que ocorrem no painel, porque ambas as culturas são suscetíveis ao ataque de *Phytophthora sp.*, principalmente em períodos de alta umidade relativa do ar.

Segundo Fialho (1982), citado por Pereira et al. (1997), a cultura da mandioca não deve ser recomendada como cultura intercalar para seringais, principalmente por favorecer a ocorrência do mandarová (*Erinnyis ello*) e exercer forte competição com as seringueiras. As culturas da soja, feijão e curcubitáceas possibilitam o surgimento de vaquinhas (*Diabrotica ssp.* e *Cerotima ssp.*). Mandarovás e vaquinhas podem causar danos consideráveis às seringueiras jovens, retardando o seu desenvolvimento durante o primeiro ano e gerando

desuniformidade no seringal. Nos cerrados, o ataque de vaquinhas e mandarovás tem sido freqüente em seringais jovens, sem, no entanto, causar danos aos seringais adultos.

De acordo com revisão feita por Silveira (1992), citado por Pereira et al. (1998), além das pragas como saúvas, cupins e gafanhotos, vários gêneros e espécies de nematóides já foram identificados associados às raízes de seringueira, porém, dentre eles, os de maior importância econômica, pela sua disseminação e pelos danos causados, são os dos gêneros *Meloidogyne spp.* e *Pratylenchus sp.*

Esses autores relatam que nematóides foram observados associados às raízes de seringueira, sem estar associados às plantas doentes, depauperadas ou subdesenvolvidas. Entretanto, pelo potencial de dano econômico dos nematóides às culturas perenes, como a seringueira e o cafeeiro, cuidados especiais devem ser tomados, como a escolha de áreas adequadas para o plantio, uso de mudas sadias e livres de nematóides, bem como o uso racional da mecanização no sistema consorciado.

Sintomas como subdesenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular, amarelecimento e queda das folhas e morte das plantas podem estar intimamente ligados às condições do solo, a problemas nutricionais, a doenças e pragas, a uso indiscriminado e indevido de herbicidas ao longo do tempo, a uso intensivo das entrelinhas com intercultivos de plantas com problemas de nematóides (PEREIRA et al., 1998).

TIPOS DE SISTEMAS

Consorciação com culturas de ciclo curto

Diversos trabalhos são encontrados na literatura referindo-se aos sistemas agroflorestais de seringueiras, no seu espaçamento convencional, com culturas de ciclo curto, como milho, mandioca, mamão, arroz, banana, girassol, abacaxi, soja. Neste caso, a consorciação ocorre nos primeiros três ou quatro anos do seringal, devendo seguir recomendações técnicas relacionadas ao manejo específico de cada cultura (exigências edafoclimáticas, tratamentos fitossanitários, adubações, etc.), à preferência e à vocação do produtor, bem como às características do mercado.

Consorciação com culturas perenes

A consorciação de seringueira com culturas agrícolas perenes e de forma temporária ou permanente constituiu uma modalidade de sistema agroflorestal, que, segundo a classificação atual dos tipos de cultivos associados, se enquadra como sistema silviagrícola.

Sistemas temporários

A consorciação temporária de seringueira e citros pode ser, segundo Pereira et al. (1997), de dois tipos:

- a) *Substituição de pomares cítricos decadentes por seringais*: tem sido muito praticada com sucesso no Estado de São Paulo, como forma de substituir os pomares cítricos decadentes. Nesse caso, a seringueira beneficia-se do efeito residual dos fertilizantes aplicados, por anos, aos citros, da proteção contra ventos fortes e oscilações térmicas, apresentando desenvolvimento superior quando comparada à seringueira em monocultivo. Nesse sistema, o pomar

produzirá temporariamente até o início da extração do látex das seringueiras.

b) *Consorciação de citros durante a formação do seringal*: considerando o bom desenvolvimento da seringueira, o drástico encurtamento da vida útil dos citros e o alto investimento para a sua implantação, esse sistema precisa ser avaliado sob o aspecto técnico e econômico.

O sistema agroflorestal temporário, a partir de novos plantios de cacaueiro e seringueira, do ponto de vista econômico, deve ser totalmente descartado, uma vez que ambas as culturas apresentam elevados custos de implantação e formação e uma vida útil que pode superar os trinta anos.

A pimenta-do-reino é uma espécie considerada adequada para consorciação com seringais durante sua fase de formação, pois, além de ser uma espécie que apresenta curto período de imaturidade, iniciando sua produção comercial no segundo ano de vida, com boas perspectivas econômicas, apresenta relativa tolerância ao sombreamento.

Nos sistemas temporários de seringueira com cafeiro, duas modalidades são recomendadas por Pereira et al. (1998):

a) *Cafezal consorciado durante a formação do seringal* - o plantio é realizado na mesma época, e o cafeiro é adensado entre as linhas de seringueira, afastado no mínimo 2 m. Vale destacar a necessidade de práticas de manejo para o cafeiro, visando adequar o sistema às limitações relacionadas ao sombreamento. Estima-se que o retorno econômico pode ser obtido em três a quatro safras de café, com alta produtividade.

b) *Substituição de cafezal velho por seringal* - essa consorciação vem sendo praticada com sucesso principalmente nos Estados de São Paulo e Paraná, e pode ser feita de duas maneiras: procedendo-se à recepagem do cafezal velho e plantando a seringueira nas linhas recepadas e alternadamente; ou plantando-se seringueira externamente às saias do cafeiro velho, garantindo-lhe luminosidade e sem prejudicar a mecanização das entrelinhas.

Sistemas permanentes

Segundo Macedo et al. (1999), um dos principais sistemas agroflorestais permanentes com seringueira é consorciado com a castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.). Neste caso, a consorciação permite, a ambas as culturas, a exploração mais racional de seus potenciais de desenvolvimento, produção e longevidade, condicionando maior duração possível e maior viabilidade econômica ao sistema.

Diversos trabalhos científicos foram desenvolvidos, considerando-se a consorciação da seringueira com o cafeiro, o cacaueiro e o cultivo de citros. Em todos os sistemas, observou-se que a seringueira apresentou bom desenvolvimento de sua parte aérea, necessitando de maior abertura das entrelinhas para viabilizar a consorciação permanente com outras culturas perenes (PEREIRA et al., 1998).

Entre os sistemas agroflorestais permanentes de seringueira com cacaueiro, segundo Pereira et al. (1997), destacam-se:

- a) *Seringais velhos e desfolhados com cacaueiro* - as seringueiras, mesmo velhas e depauperadas, fornecem sombra para o cacaueiro e apresentam viabilidade econômica e alta taxa de equivalência agrária, variando de 1,21 a 4,56, dependendo da área e do grau de tecnificação.
- b) *Novos plantios consorciados de seringueira com cacaueiro* - requer a conveniente ampliação dos seus espaçamentos tradicionais nas entrelinhas e alterações na disposição do plantio, visando assegurar maior luminosidade e microclima favorável ao desenvolvimento, à produção e à longevidade do cacaueiro.

Para Bernardes e Fancelli (1990), nos sistemas consorciados permanentes de seringueira e citros, devem ser considerados os mesmo aspectos quando da adoção de novos plantios com cacaueiro, conforme descrito.

Diversos clones de seringueira são recomendados como quebra-vento em plantio de citros, por apresentarem boa resistência ao vento, que pode afetá-los, disseminando pragas e doenças, bem como provocando queda de frutos, folhas e ramos.

No sistema agroflorestal permanente de cafeiro com seringueira são, apontadas duas alternativas, que, segundo Matiello et al. (1985) e Fernandes (1986), citados por Pereira et al. (1998), viabilizam a consorciação: plantio do seringal em renques duplos espaçados no meio do cafezal e arborização do cafezal com seringueiras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste contexto, os sistemas agroflorestais se apresentam como protótipos alternativos de sustentabilidade, pois estão alicerçados em princípios econômicos de utilização racional dos recursos naturais renováveis, sob exploração ecologicamente sustentável. São capazes de gerar benefícios sociais amplos, porém sem comprometer o potencial produtivo dos agroecossistemas em que estão inseridos, ou seja, se harmonizam com os fundamentos de que o desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente, sem comprometer as possibilidades das gerações futuras também atenderem as suas próprias necessidades.

A seringueira se desponta como uma das espécies arbóreas perenes com grande potencial para ser utilizada em sistemas agroflorestais temporários, consorciada com culturas agrícolas de ciclo curto no início de seu cultivo, e em sistemas agroflorestais permanentes multiestratificados, com outras espécies arbóreas/arbustivas tropicais.

Para a definição das melhores espécies a serem consorciadas com a seringueira, respeitando seus espaçamentos e arranjos estruturais e as técnicas

de implantação e manejo, serão necessários investimentos em futuras pesquisas e capacitação em sistemas agroflorestais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAGGIO, A.J. **Sinopse de algumas vantagens e desvantagens dos sistemas silvipastoris com *Pinus spp.*** Curitiba: EMBRAPA/URPFCS, 1983. 6 p. (EMBRAPA/URPFCS. Circular Técnica; 7).

BERNARDES, M.S.; FANCELLI, A.L. Seringueira como uma possível cultura intercalar para os pomares de citrus. In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DA SERINGUEIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO, 2., 1987, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1990. p. 223-249.

CAPORAL, F.R. **Agroecologia:** alguns conceitos e princípios. Brasília, D.F.: MDA/SAF/DATER-IICA, 2004. 24 p.

CARDOSO, M. Recomendações de adubação e calagem: seringueira. In: VAN RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: IAC, 1985. 107 p. (IAC. Boletim Técnico; 100).

CARRERE, R. **Los sistemas agroforestales:** un modelo. Montevideo: CIEDUR. 1992, 18 p. (CIEDUR. Desarrollo forestal y medio ambiente en Uruguay; 19).

CARMO, D. N.; RESENDE, M.; SILVA, T. C. A. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. In: BARROS, N. F. **Relação solo-eucalipto.** Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. 330 p.

CARVALHO, J.G. de. et al. Calagem para a cultura da seringueira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 15, n. 171, p. 38-45, 1991.

Seqüestro de Carbono _____

CARVALHO, M.M.; FREITAS, V.P.; ANDRADE, A.C. Crescimento inicial de cinco gramíneas tropicais em um sub-bosque de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.). **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 17, n. 1, p. 24-30, 1995

CARVALHO, M. M. et al. **Sistemas silvipastoris - consórcio de árvores e pastagens**. Viçosa: CPT, 2002. 128 p.

DANTAS, M. Aspectos ambientais dos sistemas agroflorestais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., 1994, Porto Velho. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1994. v. 2. p. 443-453. (EMBRAPA-CNPF. Documentos; 27).

FRANKE, I.L.; FURTADO, S.C. **Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade**. Rio Branco: EMBRAPA-CPAF/AC, 2001. 51 p. (EMBRAPA-CPAF/AC. Documentos; 74).

GARCIA, R.; COUTO, L. Sistemas silvipastoris: tecnologia emergente de sustentabilidade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa. **Anais...** Viçosa: DZO/UFV, 1997. p. 447-471.

GARCIA, R. et al. Sistemas silvipastoris na Região Sudeste: A experiência da CMM. In: SEMINÁRIO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2003, 1, Campo Grande, MT, **Meio Digital**

GONÇALVES, P.S.; CARDOSO, M.; ORTOLANI, A.A. Origem, variabilidade e domesticação da *Hevea*: uma revisão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.1, p.135-156, janeiro, 1990

Seqüestro de Carbono

HANG, S. et al. Influencia del desmonte seletivo sobre la disponibilidad de nitrógeno en años húmedos y secos en sistemas silvopotoriles en el Chaco árido argentino. **Agroforestería en las Américas**, Turrialba, v.2, n.6, p. 9-14, 1995.

JACKSON, J.E. Tree and crop selection and management to optimize overall system productivity, especially light utilization, in agroforestry. In: REIFSNYDER, W.; DARNHOFER, T.O. (Eds.). **Meteorology and agroforestry**. Nairobi: ICRAF, 1989. p.163-173.

KELLMAN, M.C. Soil enrichment by neotropical savanna trees. *Journal of Ecology*, Oxford, v.67, p. 565-577, 1979

LANI, J. L. et al. Reflexões sobre as causas e as experiências de sistemas agroflorestais em áreas instáveis. In: SEMINÁRIO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2003, Campo Grande, MT. **Anais em meio digital**.

LEITE, J.B; VIRGENS, A.C. Sistemas agroflorestais no Sudeste da Bahia: uma revisão conceitual. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus, BA. **Anais em meio digital**, 2002. 3 p. (1-032).

LUNZ, A.M.P.; FRANKE, I.L. **Princípios gerais e planejamento de sistemas agroflorestais**. Rio Branco: EMBRAPA-CPAF/AC, 1998. 26 p. (EMBRAPA-CPAF/AC. Circular técnica; n. 22).

LUNZ, A.M.P. et al. Produção do cafeiro (*Coffea Arabica* L.) em sistema agroflorestal em aléia de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em monocultivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5., 2004, Curitiba. **[Anais...]**. Colombo: EMBRAPA-CNPF, 2004. p. 467-478. (EMBRAPA-CNPF. Documentos; 98).

Seqüestro de Carbono _____

MacDICKEN, K. G.; VERGARA, N. T. **Agroforestry:** classification and management. New York: J. Wiley, 1990. 382 p.

MACEDO, R.L.G. Conservação e utilização sustentável da biodiversidade tropical através de sistemas agroflorestais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE, 4., 1993, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá, UFMT, 1993. p. 245-50.

MACEDO, R. L. G.; CAMARGO, I. P. Sistemas agroflorestais no contexto do desenvolvimento sustentável. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., 1994, Porto Velho. **Anais...** Porto Velho: EMBRAPA, 1994. p. 430-439.

MACEDO, R.L. et al. Análise de valores teóricos de índices de equivalência de área (IEA) estimados para sistemas agroflorestais permanentes com seringueira e cafeeiro. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS - FOREST, 5., 1999, Curitiba. **Anais...** Rio de Janeiro: Biosfera, 1999. 4p. (BIO 1228).

MACEDO, R.L. et al. Análise técnica do potencial de utilização da seringueira em sistemas agroflorestais permanentes. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS - FOREST, 5., 1999, Curitiba. **Anais...** Rio de Janeiro: Biosfera, 1999. 4p.

MACEDO, R.L.G. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. 157 p.

MACEDO, R.L.G.; VENTURIN, N.; TSUKAMOTO FILHO, A.A. Princípios de agrossilvicultura como subsídio do manejo sustentável. **Informe Agropecuário,** Belo Horizonte, v. 21, n. 202, p. 93-98, jan./fev. 2000.

Seqüestro de Carbono

MARQUES, J.R.B. et al. Proposta para a substituição da eritrina por seringueira em um sistema agroflorestal contínuo com cacaueiro na Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5., 2004, Curitiba. **[Anais...]**. Colombo: EMBRAPA-CNPF, 2004. p. 368-370. (EMBRAPA-CNPF. Documentos; 98).

MEDRADO, M.J.S. Sistemas agroflorestais: aspectos básicos e indicações. In: GALVÃO, A. P. M. **Reflorestamento de pequenas propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília: EMPRAPA Comunicação para Transferência e Tecnologia; Colombo, PR, EMBRAPA Florestas, 2000. p.269-312.

MONTAGNINI, F. et al. **Sistemas agroforestales**: principios y aplicaciones en los trópicos. São José, Costa Rica: OET, 1992. 622 p.

MORAES, V.H.F. Rubber. In: ALVIM, P. de T.; KOLOWSKI, T.T. (Eds.). **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic Press, 1977. p. 315-331.

MÜLLER, M. W.; VIEIRA, D.R.; MARQUES, J.R.B. Comportamento de clones de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em sistema agroflorestal zonal com cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) clonal adensado com vertisols no Recôncavo da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus,BA. **Anais em meio digital**, 2002. 4p. (1-039).

NAIR, P.K.R.; FERNANDES, E.C.M.; WANGUBU, P.N. Multipurpose leguminous trees and shrubs for agroforestry. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 146, p. 295-313, 1984.

NAIR, P. K. R. Classification of agroforestry systems. In: MacDICKEN, K.G.; VERGARA, N. T. (Eds.). **Agroforestry**: classification and management. New York: Wiley Intercience, 1990. 382 p.

Seqüestro de Carbono _____

NAIR, P.K.R. **An introduction to agroforestry.** Dordrecht Kluwer Academic, Publisher/ICRAF, 1993. 499p.

OLIVEIRA, A. D.; MACEDO, R. L. G.; SILVEIRA, V. P. Análise econômica de um sistema agro-silvo-pastoril-rotativo com Eucalyptus. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS, 4., 1996, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: Biosfera, 1996. p. 91.

OLIVEIRA, C.R.M. et al. Crescimento e características anatômicas de cafeiro (*Coffea arabica* L.) e seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em diferentes sistemas de cultivo: monocultivo e consórcio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 350-357, mar. 2004.

ONG, C.K. et al. Principles of resource capture and utilization of light and water. In: ONG, C.W.; HUXLEY, P. (Eds.). **Tree crop interactions:** a physiological approach. Wallingford, U.K.: CAB International, 1996. cap. 6, p. 189-233.

PEREIRA, A.V. et al. **Seringueira em sistemas agroflorestais.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. 45 p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos; 63).

PEREIRA, A.V. et al. **Sistemas agroflorestais de seringueira com cafeiro.** Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. 77 p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos; 70).

PEREIRA, J.P. et al. Alternativas para viabilização da pequena propriedade rural no Paraná através de sistemas agroflorestais com seringueira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus, BA. **Anais em meio digital**, 2002. 3 p. (6-032).

PEREIRA, J.P. et al. Desenvolvimento vegetativo da seringueira em consórcio agroflorestal com cafeiro em fase terminal. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS - FOREST, 6., 2000, Porto Seguro. **Anais...** Rio de Janeiro: Biosfera, 2000. p. 94-96.

PINHEIRO, A.L.; LANI, J.L.; COUTO, L. **Cedro australiano: cultivo e utilização (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (F. Muell.) Bahadur.** Viçosa: UFV, 2003. 42 p.

RAINTRÉE, J. B. **D&D use's manual:** an introduction to agroforestry diagnosis and design. Nairobi: ICRAF, 1987. 114 p.

RAMOS, A.L.M.; PEREIRA, J.P.; LEAL, A.C. Cultivo de seringueira (*Hevea brasiliensis*) em consociação com leguminosas arbóreas e herbáceas no Noroeste do Paraná.. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS - FOREST, 6., 2000, Porto Seguro. **Anais...** Rio de Janeiro: Biosfera, 2000. p. 87-89.

RESENDE, M. **Pedologia.** Viçosa: UFV, 1982. 100 p.

RIGHI, C.A.; BERNARDES, M.S.; TERAMOTO, E.R. Competição por água e nutrientes em um sistema agroflorestal de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus,BA. **Anais em meio digital.** 2002. 3 p. (6-029).

SANDS, G. R.; PODMORE, T. H. **Development of an environmental sustainability index for irrigated agricultural systems.** Colorado: Colorado State University, 1997. 11 p.

TSUKAMOTO FILHO, A. de A. **Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais.** Viçosa: UFV, 2003. 98 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa.

VENTURIN, N. et al. Estabelecimento de potenciais clones de seringueira como quebra-ventos em lavoura cafeeira na Região de Lavras - MG. **Revista Agrossilvicultura,** Viçosa, MG, v. 1, n. 2, p. 135-143, Julho/dezembro 2004.

Seqüestro de Carbono _____

Capítulo 12

Laércio Antônio G. Jacovine¹

Michelle Karina Cotta²

Haroldo Nogueira de Paiva¹

Carlos Pedro Boechat Soares¹

Adonias de Castro Virgens Filho³



CONSÓRCIO SERINGUEIRA-CACAU E GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO

¹ Professores do Departamento de Engenharia Florestal da UFV, e-mails: jacovine@ufv.br, hnpaiva@ufv.br, csoares@ufv.br

² Mestre em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, MG,
e-mail: mkcotta@yahoo.com.br

³ Pesquisador CEPLAC/CEPEC, BA, e-mail: adoniascastro@cepec.gov.br.

O CONSÓRCIO SERIGUEIRA-CACAU

O consórcio de culturas é um sistema de uso da terra no qual diferentes espécies (florestais ou agrícolas) são cultivadas de forma integrada, visando múltiplos propósitos e se constituindo numa opção econômica, social e ambientalmente viável (NAIR, 1989; MACEDO, 2000).

Em virtude de a seringueira apresentar longo período de maturidade e ser plantada em espaçamentos amplos, permite-se o consórcio com outras culturas, de forma que proporcione a conservação do solo e o uso racional da área, propiciando também maiores produtividades, menores custos e receitas adicionais ao produtor (FANCELLI, 1986).

Para Alvim (1989), o cacau é bastante indicado para ser consorciado com a seringueira, visto ser uma cultura de médio porte e que normalmente requer associação a outras espécies, cuja finalidade seja a de sombreá-lo.

A seringueira e o cacau possuem características complementares nos requerimentos ecológicos, o que permite serem explorados conjuntamente, com inúmeros benefícios mútuos. O plantio consorciado dessas duas culturas é um dos mais conhecidos e bem sucedidos exemplos de consórcio sustentável, constituindo-se numa boa alternativa para diversas regiões do Brasil e do mundo (MARQUES et al., 2002).

Segundo Fancelli (1986), Alvim et al. (1989), Alvim (1989) e Pereira et al. (1997), as principais vantagens do consórcio seringueira-cacau são:

- Uso mais eficiente e racional dos recursos naturais, como, por exemplo, uma melhor utilização da radiação solar (o cacau necessita de certo grau de sombreamento, o que pode ser provido pela seringueira) e um melhor aproveitamento de água e nutrientes do solo (a diferença entre o sistema radicular da seringueira e o do cacaueiro permite a exploração de diferentes áreas e profundidades, o que implica melhor aproveitamento dos corretivos

e fertilizantes aplicados).

- Maior equilíbrio biológico, com possibilidade de redução dos problemas fitossanitários em relação às monoculturas.
- Minimização dos riscos para o produtor, uma vez que a diversificação da produção possibilita que os diversos produtos sejam diferentemente afetados por condições desfavoráveis de produção ou de mercado.
- Melhor aproveitamento espacial da área de cultivo, maior produção total por área e, consequentemente, maior lucro.
- O consórcio promove um uso contínuo e mais racional da mão-de-obra rural, com melhor distribuição de receitas ao longo do ano.

No Estado da Bahia, a plantação do cacau sob seringais adultos teve início a partir da década de 1970, no período em que os preços do cacau eram bastante estimuladores. Além disso, a tradição do cultivo do cacau naquela região, a facilidade do estabelecimento do cacaueiro nas sombras pré-existentes e a possível retomada dos seringais foram fatores que motivaram o consórcio em inúmeras propriedades (ALVIM et al., 1989).

Os sistemas mais usados no consórcio seringueira-cacau consistem em fileiras simples ou duplas de cacaueiro, sob o espaçamento de 3x3 m em cada entrelinha da seringueira, inicialmente estabelecidas no espaçamento 7x3 m (ALVIM, 1989).

De acordo com Virgens Filho et al. (1988), a produtividade do seringal consorciado com cacau é comparável a dos plantios em monocultivos, sendo as vezes superior, devido a uma menor incidência de pragas, doenças e menor competição com plantas daninhas. No entanto, Pereira et al. (1997) afirmam que a cultura do cacaueiro foi consorciada com sucesso na Bahia porque aqueles seringais já estavam decadentes e parcialmente desfolhados, em razão da sua suscetibilidade ao mal-das-folhas, causado pelo *Microcyclus ulei*, permitindo

Seqüestro de Carbono

uma luminosidade satisfatória aos cacaueiros. Alvim (1989) atribui as experiências de consorciação da seringueira-cacau mal-sucedidas à inobservância de fatores fundamentais, como a qualidade e intensidade de sombra e o espaçamento utilizado no plantio da seringueira.

O consórcio permanente de seringais sadios, bem enfolhados e bem desenvolvidos com cacaueiros, requer a conveniente ampliação dos seus espaçamentos tradicionais nas entrelinhas da seringueira, visando assegurar uma luminosidade satisfatória e um microclima favorável ao desenvolvimento, produção e longevidade do cacaueiro (PEREIRA et al., 1997).

Segundo Virgens Filho et al. (1988), existem estratégias que permitem viabilizar tecnicamente a produção. Os recursos mais promissores são aqueles que envolvem as diferentes disposições de plantio e variações nos graus de sombreamento ou luminosidade, que, inclusive, permitam o estabelecimento simultâneo do cacau e da seringueira.

Do ponto de vista dos acordos internacionais sobre Mudanças Climáticas, Fernandes (2003) afirma que a heveicultura é uma atividade capaz de trazer benefícios ao sistema climático global, tendo em vista que, por se tratar de uma espécie florestal, armazena o carbono atmosférico em sua biomassa. O mesmo autor afirma ainda que o cacau é uma alternativa bastante atraente do ponto de vista econômico e ambiental, tendo em vista que a cacaicultura também pode contribuir para a mitigação do efeito estufa, armazenando carbono em sua biomassa. Entretanto, ainda existem muitas controvérsias e indefinições quanto a geração de créditos de carbono por projetos florestais, necessitando de realizar mais pesquisas sobre o assunto. Nesse sentido, a seguir será apresentado um estudo de caso que analisa a quantidade de biomassa fixada e a viabilidade econômica do consórcio seringueira-cacau com a inclusão dos créditos de carbono.

QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA E ANÁLISE ECONÔMICA DO CONSÓRCIO SERINGUEIRA-CACAU PARA GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO

Os dados do estudo desenvolvido por Cotta (2005) foram levantados nas Fazendas Reunidas Vale do Juliana (FRVJ), Igrapiúna, Bahia. O local do experimento está situado entre as coordenadas geográficas 13°50'46" de latitude sul e 39°50'85" de longitude oeste, sendo a altitude média de 240,65 m.

Segundo a classificação de Köeppen, o clima na região encontra-se na faixa Af, sendo caracterizado como quente e úmido, sem estação seca definida. A temperatura média anual varia entre 23 e 25 °C e a umidade relativa do ar é superior a 80%. A precipitação média anual dos últimos três anos foi de 2.445 mm.

Os solos das FRVJ são classificados como latossolos, descritos como unidade Valença, com seqüência normal de horizontes, de textura argilosa e cor bruno-amarelada escura. Possuem boas condições físicas, boa porosidade, permeabilidade, drenagem interna e profundidade superior a 1,0 m. O relevo varia de onulado a fortemente onulado, constituído por outeiros e morros de topos arredondados, com declividade em torno de 30%.

A quantificação da biomassa vegetal foi realizada em área de 2,2 ha, onde havia consórcio de seringueiras e cacaueiros. As seringueiras do clone FX 2261 tinham idade de 34 anos e foram plantadas no espaçamento de 7x3 m. Os cacaueiros, com idade de 6 anos, foram enxertados com clones selecionados de híbridos do cruzamento do cacau trinitário com o cacau forasteiro, plantados no espaçamento 3x3 m.

Quantificação da biomassa, estimativa de carbono e contabilização dos CERs

Árvores-amostra foram selecionadas para a quantificação da biomassa dos componentes da parte aérea (tronco, folhas e galhos) e do sistema radicular (raiz pivotante e raízes laterais).

A quantificação da biomassa arbórea foi feita pelo método direto e destrutivo de árvores (TEIXEIRA et al., 1994; TEIXEIRA e OLIVEIRA, 1999; SANQUETA, 2002; CARMO et al., 2003).

A biomassa seca foi convertida em carbono utilizando-se o fator 0,5, sugerido por vários autores, entre eles Dewar e Cannel (1992), Fearnside (1994), Soares e Oliveira (2002), significando que 50% da biomassa seca seria composta por carbono. Para a conversão do carbono em $\text{CO}_{2(\text{eq})}$, considerou-se uma tonelada de carbono correspondente à 3,67 toneladas de CO_2 (FACE, 1994). Assim, os CERs emitidos corresponderiam à quantidade de CO_2 estocada no consórcio.

A quantificação dos CERs e a análise econômica foram realizadas para uma simulação de consórcio de seringueira aos 34 anos com cacaueiro aos 30 anos de idade. Para isso, considerou-se um horizonte de planejamento de 34 anos para o projeto, o plantio da seringueira no primeiro ano e o do cacaueiro no quarto ano.

A estimativa do estoque de carbono do cacau, do sétimo ao trigésimo ano, foi feita com base no trabalho de Teixeira e Oliveira (1999), que encontraram um incremento anual médio de 0,71 tC/ha.ano no cacaueiro com 20 anos de idade. O total de carbono observado no sétimo ao trigésimo ano foi somado ao encontrado no sexto ano, obtendo-se, assim, o total armazenado aos 30 anos de idade.

Cenários estudados

Para se analisar a viabilidade econômica do consórcio, duas situações foram estudadas:

- Consórcio seringueira-cacau sem a geração dos CERs. Foi realizada a análise econômica considerando somente os custos do projeto florestal e as receitas obtidas pela venda da borracha e das amêndoas de cacau.
- Consórcio seringueira-cacau com a geração dos CERs. Aos custos do projeto florestal e das receitas obtidas com a venda da borracha e das amêndoas de cacau foram somados o custo do projeto de créditos de carbono e a receita proveniente da venda dos CERs.

Fluxo de caixa e taxa de desconto utilizada

Todos os custos e receitas incidentes no projeto foram ordenados anualmente em um fluxo de caixa, segundo Rezende e Oliveira (2001). Esses valores foram atualizados mediante fórmulas financeiras para determinado momento. A taxa de desconto aplicada foi de 10% ao ano.

• Composição dos custos

Os custos utilizados na análise econômica foram aqueles necessários para se implantar 1 hectare do consórcio seringueira-cacau. Esses custos estavam relacionados à mão-de-obra e aos insumos usados para a realização das seguintes atividades:

- *Implantação do consórcio:* preparo do solo, aquisição de mudas e plantio.

Seqüestro de Carbono

- *Manutenção/tratos culturais*: roçada manual, aplicação de calcário, adubação de cobertura, aplicação de herbicida, combate às pragas, controle de doenças, desbrota da seringueira, poda e desbrota do cacauzeiro.
- *Colheita*: sangria da seringueira, coleta e beneficiamento do cacau, transporte.
- *Valor da terra*: o custo da terra teve como referência o estabelecido, pelo AGRIANUAL (2004), para terras com pastagens de baixo suporte na região do sudeste da Bahia: R\$ 1.100,00/ha. Considerou-se, para cada ano de produção, um valor de 10% do preço da terra.

Os coeficientes técnicos e as atividades realizadas no consórcio tiveram como referência a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - CEPLAC. Informações complementares foram obtidas em pesquisas bibliográficas (FERREIRA NETO, 1985; GRAMACHO et al., 1992; VIRGENS FILHO, 2002; AGRIANUAL, 2004).

Na determinação dos custos de mão-de-obra para a realização das atividades, levou-se em consideração o valor do salário mínimo (R\$ 260,00), com acréscimo de 50% referente aos encargos sociais, valor médio sugerido pelo SEBRAE (2002), e considerando 22 dias úteis trabalhados no mês. Os preços dos insumos foram obtidos em pesquisas de mercado e consultas ao AGRIANUAL (2004).

Para obtenção dos CERs gerados pelo projeto de MDL, existe o custo de contratação de uma empresa, que é denominada de Entidade Operacional Designada. Neste estudo, o custo dos CERs foi estimado considerando um custo fixo, por projeto, de US\$ 260,000.00 (R\$ 728.000,00, considerando US\$1.00 igual a R\$ 2,80), valor sugerido pelo Banco Mundial, e tamanho de projeto que resulte na absorção de 50.000 tCO₂/ano.

- **Composição das receitas**

As receitas do consórcio foram obtidas com a venda da borracha, das amêndoas do cacau e dos CERs. As produções de cacau e de látex tiveram como referência o estudo de Virgens Filho (2002). O preço considerado para venda da borracha seca foi de R\$ 2.670,00 a tonelada (BORRACHA NATURAL BRASILEIRA, 2004) e do cacau, de R\$ 70,00 a arroba (INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION, 2004). As receitas da venda dos CERs foram obtidas multiplicando-se a tonelada de CO₂ pelo preço de US\$ 5,50, conforme sugerido por Haites (2004) e Lecocq (2004).

Análise Econômica

A análise econômica foi realizada com a finalidade de verificar a viabilidade do projeto com e sem a venda dos CERs. Para efetuar essa análise, foram utilizados os seguintes critérios de avaliação econômica: Valor Presente Líquido - VPL, Taxa Interna de Retorno - TIR e Valor Anual Equivalente - VAE.

Estimativa do estoque de carbono e contabilização dos CERs

O estoque total de carbono arbóreo encontrado foi de 89,87 tC/ha, estando 84,65 tC/ha armazenados nas árvores de seringueira e 5,22 tC/ha nos cacaueiros (Quadro 1).

Seqüestro de Carbono

Quadro 1 – Estimativa de valores e percentuais do estoque de carbono nos compartimentos da seringueira, aos 34 anos de idade e do cacau, aos 6 anos

Compartimento da árvore	Seringueira		Cacau	
	Carbono (tC/ha)	Valor Percentual (%)	Carbono (tC/ha)	Valor Percentual (%)
Parte Aérea				
Folhas	1,85	2,00	1,02	20,00
Tronco	19,22	23,00	0,62	12,00
Galhos				
Grossos	22,89	27,00	1,46	28,00
Médios	11,15	13,00	0,39	7,00
Finos	13,30	16,00	0,28	5,00
Subtotal	68,41	81,00	3,77	72,00
Raízes				
Pivotantes	11,09	13,00	0,62	12,00
Laterais				
Grossas	2,25	3,00	0,24	5,00
Médias	2,04	2,00	0,27	5,00
Finas	0,86	1,00	0,32	6,00
Subtotal	16,24	19,00	1,45	28,00
Peso total	84,65	100,00	5,22	100,00

Fonte: Cotta (2005).

Quando realizada a simulação do consórcio, considerando-se 34 anos para a seringueira e 30 anos para o cacau, obteve-se um estoque de carbono de

Seqüestro de Carbono

106,91 tC/ha, o que corresponde a 393 tCO_{2(eq)}/ha (Quadro 2). Assim, o total de CERs/ha gerados pelo consórcio corresponde a 393 tCO_{2(eq)}/ha.

Quadro 2 – Estimativa do estoque de carbono e de CO_{2(eq)} no consórcio seringueira/cacau

Compartimento do consórcio	Estoque de carbono (tC/ha)	Estoque de CO _{2(eq)} (tCO ₂ /ha)
Seringueira	84,65	311,00
Cacau	22,26	82,00
Total	106,91	393,00

Análise econômica

• Fluxo de caixa do consórcio sem os CERs

As atividades, a produção, o custo e a receita do consórcio seringueira-cacau, sem os CERs, podem ser visualizados no Quadro 3.

Seqüestro de Carbono

Quadro 3 – Custo, receita e produção do consórcio sem os CERs

Ano	Atividades	Custo (R\$/ha)	Produção		Receita (R\$/ha)
			Seringueira (kg.BS*/ha)	Cacau (@/ha)	
0	Implant. Seringueira	2.860,86	-	-	-
1	Manutenção	1.366,00	-	-	-
2	Manutenção	1.057,68	-	-	-
3	Manutenção	1.147,68	-	-	-
4	Manut./Implant. Cacau	2.989,33	-	-	-
5	Manutenção	1.144,34	-	-	-
6	Manutenção	1.561,10	-	-	-
7	Manutenção/Produção	3.007,22	338,00	-	902,46
8	Manutenção/Produção	2.805,50	663,00	18,00	3.030,21
9	Manutenção/Produção	3.172,14	1.025,00	36,00	5.256,75
10	Manutenção/Produção	3.068,12	1.266,00	60,00	7.580,22
11	Manutenção/Produção	3.078,12	1.447,00	60,00	8.063,49
12	Manutenção/Produção	3.571,00	1.447,00	60,00	8.063,49
13	Manutenção/Produção	3.184,44	1.447,00	60,00	8.063,49
14	Manutenção/Produção	3.617,44	1.447,00	60,00	8.063,49
15	Manutenção/Produção	3.842,32	1.447,00	60,00	8.063,49
16	Manutenção/Produção	3.617,44	1.447,00	60,00	8.063,49
17	Manutenção/Produção	3.915,44	1.447,00	60,00	8.063,49
18	Manutenção/Produção	3.832,32	1.447,00	60,00	8.063,49
19	Manutenção/Produção	3.627,44	1.447,00	60,00	8.063,49
20	Manutenção/Produção	3.617,44	1.447,00	60,00	8.063,49
21	Manutenção/Produção	3.842,32	1.447,00	60,00	8.063,49
22	Manutenção/Produção	3.905,44	1.447,00	60,00	8.063,49
23	Manutenção/Produção	3.627,44	1.447,00	60,00	8.063,49
24	Manutenção/Produção	3.832,32	1.447,00	60,00	8.063,49
25	Manutenção/Produção	3.627,44	1.447,00	60,00	8.063,49
26	Manutenção/Produção	3.617,44	1.447,00	60,00	8.063,49
27	Manutenção/Produção	4.130,32	1.447,00	60,00	8.063,49
28	Manutenção/Produção	3.617,44	1.447,00	60,00	8.063,49
29	Manutenção/Produção	3.627,44	1.447,00	60,00	8.063,49
30	Manutenção/Produção	3.832,32	1.447,00	60,00	8.063,49
31	Manutenção/Produção	3.627,44	1.302,00	60,00	7.766,34
32	Manutenção/Produção	3.905,44	1.107,00	60,00	7.155,69
33	Manutenção/Produção	3.842,32	886,00	60,00	6.565,62
34	Manutenção/Produção	3.617,44	663,00	60,00	5.970,21

Fonte: CEPLAC e Virgens Filho (2002).

* BS refere-se à borracha seca.

Observa-se, no Quadro 3, que a produção de látex foi crescente nos cinco primeiros anos da sangria, manteve-se estável até o 30º ano e apresentou

Seqüestro de Carbono

queda de 10, 15, 20 e 25% no 31º, 32º, 33º e 34º anos, respectivamente. O cacau, implantado no 4º ano, iniciou a produção no 8º ano, a qual se manteve constante após o 10º ano até o final do ciclo.

Analisando o fluxo de caixa corrente do consórcio seringueira-cacau, sem a inclusão dos CERs (Quadro 4), verificou-se que este se apresentou negativo até o 7º ano, quando se iniciou a extração do látex, passando a ser positivo a partir do 8º ano, com a inclusão das receitas do cacau. O saldo negativo nos primeiros anos é justificado pelo fato de o consórcio não apresentar receitas até o 6º ano, pelo incremento dos custos com a implantação do cacau e a aquisição de materiais para o início da extração do látex.

O fluxo de caixa acumulado do consórcio demonstrou que, no cenário sem os CERs, o lucro do projeto passou a ocorrer somente a partir do 16º ano (Quadro 4), embora a partir do 8º ano as receitas tenham sido superiores aos custos, mantendo-se assim até o final do ciclo do projeto. Ainda que o consórcio seringueira-cacau tenha envolvido custos nos primeiros anos e receitas somente a partir do 7º ano, seu fluxo de caixa demonstrou que a atividade é rentável. Além disso, deve-se levar em consideração que ambas as culturas são de ciclo longo, o que possibilita a obtenção de receitas por um grande período, praticamente durante todos os meses do ano.

O comportamento observado neste fluxo de caixa não difere daqueles geralmente encontrados na maioria dos projetos florestais. Altos custos iniciais e receitas a longo prazo são características que, muitas vezes, tornam os projetos dessa natureza pouco atrativos.

Seqüestro de Carbono

Quadro 4 – Custo, receita e fluxo de caixa (corrente, atualizado e acumulado) para o consórcio seringueira-cacau sem a inclusão dos CERs

Ano	Custo Total R\$/ha	Receita R\$/ha	Fluxo de Caixa R\$/ha		
			Corrente	Atualizado	Acumulado
0	2.860,86	-	-2.860,86	-2.860,86	-2.860,86
1	1.351,00	-	-1.351,00	-1.228,18	-4.089,04
2	1.042,68	-	-1.042,68	-861,72	-4.950,76
3	1.132,68	-	-1.132,68	-851,00	-5.801,76
4	2.974,33	-	-2.974,33	-2.031,51	-7.833,27
5	1.129,34	-	-1.129,34	-701,23	-8.534,50
6	1.546,10	-	-1.546,10	-872,73	-9.407,23
7	2.992,22	902,46	-2.089,76	-1.072,38	-10.479,61
8	2.790,50	3.030,21	239,71	111,83	-10.367,78
9	3.157,14	5.256,75	2.099,61	890,44	-9.477,34
10	3.053,12	7.580,22	4.527,10	1.745,39	-7.731,95
11	3.063,12	8.063,49	5.000,37	1.752,60	-5.979,35
12	3.556,00	8.063,49	4.507,49	1.436,23	-4.543,13
13	3.169,44	8.063,49	4.894,05	1.417,63	-3.125,49
14	3.602,44	8.063,49	4.461,05	1.174,73	-1.950,76
15	3.827,32	8.063,49	4.236,17	1.014,11	-936,65
16	3.602,44	8.063,49	4.461,05	970,85	34,20
17	3.900,44	8.063,49	4.163,05	823,64	857,84
18	3.817,32	8.063,49	4.246,17	763,71	1.621,55
19	3.612,44	8.063,49	4.451,05	727,78	2.349,33
20	3.602,44	8.063,49	4.461,05	663,11	3.012,44
21	3.827,32	8.063,49	4.236,17	572,44	3.584,87
22	3.890,44	8.063,49	4.173,05	512,64	4.097,52
23	3.612,44	8.063,49	4.451,05	497,09	4.594,60
24	3.817,32	8.063,49	4.246,17	431,09	5.025,70
25	3.612,44	8.063,49	4.451,05	410,81	5.436,51
26	3.602,44	8.063,49	4.461,05	374,31	5.810,82
27	4.115,32	8.063,49	3.948,17	301,16	6.111,97
28	3.602,44	8.063,49	4.461,05	309,34	6.421,32
29	3.612,44	8.063,49	4.451,05	280,59	6.701,91

Continua...

Seqüestro de Carbono

...Continuação

30	3.817,32	8.063,49	4.246,17	243,34	6.945,25
31	3.612,44	7.676,34	4.063,90	211,72	7.156,97
32	3.890,44	7.155,69	3.265,25	154,65	7.311,63
33	3.827,32	6.565,62	2.738,30	117,90	7.429,53
34	3.602,44	5.970,21	2.367,77	92,68	7.522,21

Uma maneira de agregar receitas e minimizar o fluxo de caixa negativo do consórcio é implantar culturas agrícolas entre as linhas de seringueira nos três primeiros anos da atividade. Entretanto, não se considerou esta possibilidade neste estudo, visto que o principal objetivo foi analisar a viabilidade econômica, sem e com a geração de CERs, os quais, para o primeiro período de compromisso do Protocolo de Quioto (2008 a 2012), são válidos somente para espécies florestais.

• Fluxo de caixa do consórcio com os CERs

O fluxo de caixa do cenário, considerando a venda dos créditos de carbono, diferenciou-se do anterior devido à inclusão do custo do projeto para geração dos CERs (R\$ 168,16/ha), no ano de implantação florestal, e ao incremento da receita (R\$ 6.052,20/ha) no ano 1, provenientes dos CERs (Quadro 5).

Seqüestro de Carbono

Quadro 5 – Custo, receita e fluxo de caixa (corrente, atualizado e acumulado) para o consórcio seringueira-cacau, com a inclusão dos CERs

Ano	Custo Total R\$/ha	Receita R\$/ha	Fluxo de Caixa R\$/ha		
			Corrente	Atualizado	Acumulado
0	3.029,02	-	-3.029,02	-3.029,02	-3.029,02
1	1.351,00	6.052,20	4.701,20	4.273,82	1.244,80
2	1.042,68	-	-1.042,68	-861,72	383,08
3	1.132,68	-	-1.132,68	-851,00	-467,92
4	2.974,33	-	-2.974,33	-2.031,51	-2.499,43
5	1.129,34	-	-1.129,34	-701,23	-3.200,66
6	1.546,10	-	-1.546,10	-872,73	-4.073,39
7	2.992,22	902,46	-2.089,76	-1.072,38	-5.145,77
8	2.790,50	3.030,21	239,71	111,83	-5.033,94
9	3.157,14	5.256,75	2.099,61	890,44	-4.143,50
10	3.053,12	7.580,22	4.527,10	1.745,39	-2.398,11
11	3.063,12	8.063,49	5.000,37	1.752,60	-645,51
12	3.556,00	8.063,49	4.507,49	1.436,23	790,71
13	3.169,44	8.063,49	4.894,05	1.417,63	2.208,35
14	3.602,44	8.063,49	4.461,05	1.174,73	3.383,08
15	3.827,32	8.063,49	4.236,17	1.014,11	4.397,19
16	3.602,44	8.063,49	4.461,05	970,85	5.368,04
17	3.900,44	8.063,49	4.163,05	823,64	6.191,68
18	3.817,32	8.063,49	4.246,17	763,71	6.955,39
19	3.612,44	8.063,49	4.451,05	727,78	7.683,17
20	3.602,44	8.063,49	4.461,05	663,11	8.346,28
21	3.827,32	8.063,49	4.236,17	572,44	8.918,71
22	3.890,44	8.063,49	4.173,05	512,64	9.431,36
23	3.612,44	8.063,49	4.451,05	497,09	9.928,44
24	3.817,32	8.063,49	4.246,17	431,09	10.359,54
25	3.612,44	8.063,49	4.451,05	410,81	10.770,35
26	3.602,44	8.063,49	4.461,05	374,31	11.144,66
27	4.115,32	8.063,49	3.948,17	301,16	11.445,81
28	3.602,44	8.063,49	4.461,05	309,34	11.755,16

Continua...

Seqüestro de Carbono

...Continuação						
29	3.612,44	8.063,49	4.451,05	280,59	12.035,75	
30	3.817,32	8.063,49	4.246,17	243,34	12.279,09	
31	3.612,44	7.676,34	4.063,90	211,72	12.490,81	
32	3.890,44	7.155,69	3.265,25	154,65	12.645,47	
33	3.827,32	6.565,62	2.738,30	117,90	12.763,37	
34	3.602,44	5.970,21	2.367,77	92,68	12.856,05	

Observou-se que a receita dos CERs, no ano 1, permitiu ao investidor cobrir os custos de implantação da seringueira e possibilitou antecipar o retorno do investimento do 16º ano para o 12º ano, quando comparado ao cenário anterior. O fluxo de caixa acumulado nos anos seguintes comprovou que a inclusão dos créditos de carbono no consórcio é uma opção para tornar a atividade mais rentável.

Embora o mercado de carbono previsto pelo Protocolo de Quioto ainda não esteja regulamentado, há mercados paralelos, em diversos países, onde já é comercializada redução de emissões. No entanto, vale ressaltar que, como este mercado ainda não possui regras definidas, as transações acabam se diferindo muito, tanto nos contratos de comercialização dos certificados quanto nos preços.

Pesquisas de mercado, realizadas por Haites (2004), apontam o valor atual aproximadamente de US\$ 5.50 para as unidades de redução de emissão, podendo alcançar o preço de US\$ 11.00 em 2010. Uma sondagem de preços, realizada em outubro de 2003, no encontro da *International Emissions Trading Association*, indicou que o preço médio para a tonelada de CO₂ será de US\$ 14.30 no ano de 2010. Outra estimativa de preço para o CO₂, em 2010, foi feita pela *Point Carbon*, que sugeriu um valor de US\$ 9.90 a tonelada.

Um fator que interfere nos preços dos CERs é o tipo de projeto que vai emitir os certificados. Os CERs provenientes de projetos de florestamento e reflorestamento têm sido cotados a preços menores. Alega-se que este tipo de projeto não oferece segurança quanto à perenidade, estando sujeito à ocorrência

Seqüestro de Carbono

de sinistros (fogo, pragas) ou à eliminação para substituição por outro tipo de cultura, colocando em risco o atendimento aos compromissos quanto à redução das emissões. Fung (2000), citado por Pandey (2001), ressalta que o tempo da retenção do carbono na árvore é uma consideração importante para projetos candidatos à geração de CERs.

Com base no custo fixo do projeto dos CERs (R\$ 728.000,00) e no valor de venda de US\$ 5.50/tCO₂ (R\$ 15,40, considerando US\$ 1.00 igual a R\$ 2,80), chegou-se à conclusão de que, para a receita dos CERs cobrir este custo, seria necessária uma área mínima de 120 ha plantada com o consórcio, o que implicaria a geração de 47.160 CERs no final dos 34 anos.

Acredita-se que, com o Protocolo de Quioto e com a regulamentação do mercado de créditos de carbono, os custos de transação de um projeto de MDL assumirão valores mais baixos e os preços dos CERs, valores mais altos. Desse modo, projetos com capacidade de gerar menor quantidade de CERs poderão se tornar mais viáveis economicamente.

• Análise dos itens de custo

Durante 34 anos, o custo total atualizado do consórcio seringueira-cacau por hectare, sem e com os créditos de carbono, foi de R\$ 27.372,92 e R\$ 27.541,08, respectivamente. A participação dos componentes do custo total atualizado sem os CERs pode ser observada na Figura 1.

Seqüestro de Carbono

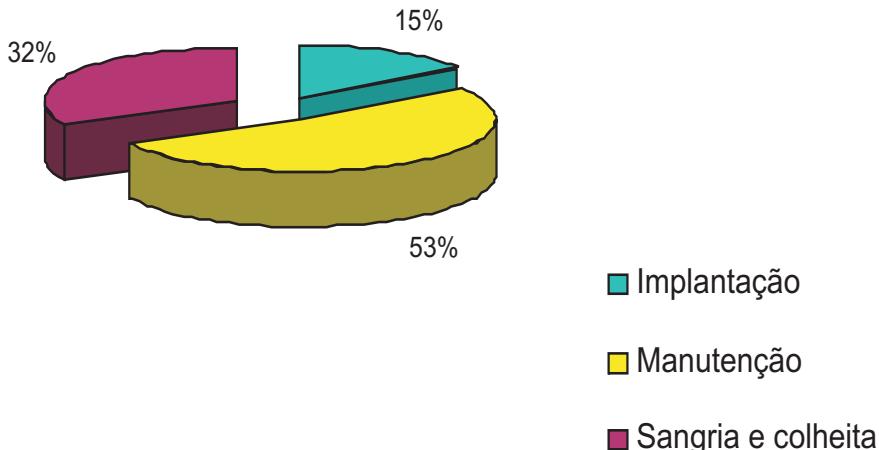


Figura 1 – Participação percentual dos custos atualizados do consórcio seringueira-cacau sem os CERs.

Verificou-se que o custo referente à manutenção apresentou-se como o mais elevado, correspondendo a 53% do total. Do custo referente à manutenção, 45% foi atribuído à mão-de-obra e 55% aos insumos.

O segundo componente que apresentou maior valor foi o custo da sangria e da colheita/beneficiamento do cacau (32%). Desse total, 92% correspondem à mão-de-obra, sendo a maior parte para a sangria.

O custo de implantação do consórcio teve menor percentual de contribuição (15%). Os componentes do custo de implantação e as respectivas contribuições percentuais foram: preparo da área para plantio (23%), aquisição de mudas (35%) e plantio (42%). Na etapa de implantação, o item mão-de-obra contribuiu com 44% dos custos, e o restante foi referente aos insumos e à aquisição de mudas.

Seqüestro de Carbono

Considerando o custo total, constatou-se que 61% referiu-se à mão-de-obra.

Diante desses resultados, pode-se afirmar que o item mão-de-obra é o principal componente do custo total do consórcio, o que é atribuído ao uso intensivo de práticas manuais em todas as etapas do cultivo da seringueira e do cacau, durante quase todo o ano, e também aos altos encargos sociais incidentes sobre a folha de pagamento dos funcionários. Por sua vez, a absorção de mão-de-obra e, consequentemente, a contribuição para a geração de emprego e renda no meio rural são características que fazem com que o consórcio seringueira-cacau possa atender a um dos objetivos do MDL: contribuir para o desenvolvimento sustentável do País.

Vale ressaltar que os custos do consórcio seringueira-cacau podem variar de acordo com a região de execução do projeto, principalmente os custos relacionados à fertilização e aplicação de defensivos. Essa variação pode ser atribuída às características edafoclimáticas de cada local, ao tipo de material genético utilizado e, consequentemente, à suscetibilidade ao ataque de pragas e doenças às culturas.

Considerando os créditos de carbono, verificou-se que o custo dos CERs foi equivalente a 0,6% do custo total do projeto por hectare. Como o custo dos CERs geralmente é fixo por projeto, pode-se inferir que este custo por hectare pode ser diluído de acordo com o tamanho da área do projeto ou a quantidade de CERs gerados. Além disso, como a comercialização de créditos de carbono é uma atividade nova no mercado, espera-se que, à medida que novos projetos sejam aprovados e que as metodologias de quantificação de emissões e de reduções se tornem mais simplificadas, esses custos sejam reduzidos, proporcionando assim maior viabilidade aos projetos de MDL.

• **Análise da viabilidade econômica pelos critérios VPL, TIR e VAE**

Utilizando uma taxa anual de desconto de 10% para 34 anos, observou-se que o projeto apresentou-se economicamente viável com e sem os créditos de carbono, de acordo com os três critérios analisados (Quadro 6).

Quadro 6 – Viabilidade econômica pelos critérios VPL, TIR e VAE, em R\$/ha, para o consórcio seringueira-cacau sem e com os CERs, utilizando taxa de desconto de 10% a.a. e horizonte de planejamento de 34 anos

Cenários	VPL (R\$/ha)	TIR (%)	VAE (R\$/ha)
Sem os CERs	7.522,21	14,62	782,86
Com os CERs	12.856,05	24,12	1.337,98

VPL = valor presente líquido; TIR = taxa interna de retorno; VAE = valor anual equivalente.

Os VPLs encontrados demonstraram que o consórcio seringueira-cacau proporcionou um lucro de R\$ 7.522,21/ha e R\$ 12.856,05/ha sem e com os créditos de carbono, respectivamente. Comparando os dois cenários, verificou-se aumento de 70% no VPL quando foram considerados os créditos de carbono. Assim, pode-se inferir que a inclusão de receitas dos créditos de carbono é uma alternativa capaz de aumentar a viabilidade do consórcio e de atuar como atrativo de investimento em projetos dessa natureza.

Conforme comentário anterior é esperado que, após a consolidação do mercado de créditos de carbono, prevista pelo Protocolo de Quioto, o preço dos CERs aumente e que o custo do projeto para sua geração diminua. Isso, conseqüentemente, viabilizará ainda mais os projetos de créditos de carbono.

Utilizando o critério TIR, verificou-se que, sem a inclusão dos CERs, esta foi de 14,62%, podendo ser considerada uma rentabilidade razoável. Porém, as altas taxas de juros no Brasil e a propensão aos riscos que os projetos florestais apresentam (ataque por doenças, pragas, fogo, etc.) são fatores que diminuem a sua atratividade, mesmo que se apresentem viáveis. O aumento da TIR para 24,12%, quando considerados os CERs, indicou que os créditos de carbono proporcionaram uma ótima rentabilidade ao capital, podendo ser considerado atrativo do investimento em projetos florestais.

Os valores encontrados para o VAE demonstraram que o projeto sem os CERs apresentou uma receita líquida anual de R\$ 782,86/ha e, com a inclusão dos CERs, a renda anual subiu para R\$ 1.337,98/ha. Com base nesses valores, pode-se inferir que, mesmo sem a inclusão dos CERs, a rentabilidade anual do consórcio é boa, principalmente por se tratar de uma atividade que pode ser praticada por pequenos produtores rurais e que não exige mecanização, sendo os principais fatores de produção a terra e a mão-de-obra. Além disso, é uma atividade em que o produtor pode contar com a mão-de-obra familiar e, ainda, conciliar com outras atividades em sua propriedade.

• Análise de sensibilidade

Os resultados da análise de sensibilidade demonstraram que o VPL apresentou-se sensível às variações percentuais na taxa de juros, no custo de mão-de-obra e nos preços da borracha, do cacau e dos CERs. Dentre essas variáveis, as que mais afetaram a viabilidade do consórcio foram a taxa de juros e o preço do cacau (Quadro 7).

Observou-se que o decréscimo de 20% na taxa de juros ocasionou aumento de R\$ 12.856,05 para R\$ 19.222,79 no VPL, o que correspondeu a um acréscimo de 49% na viabilidade do projeto. A maior variação observada no VPL,

Seqüestro de Carbono

em razão das taxas de juros, comprova que estas são um dos principais fatores que afetam a viabilidade econômica do consórcio. Isso ocorre pela natureza do fluxo de caixa deste tipo de projeto, em que os custos incidem do início ao fim e as receitas só passam a ocorrer após os custos iniciais, geralmente após o 6º ano.

O acréscimo de 20% no preço dos CERs aumentou a viabilidade do consórcio em apenas 8,5%, porque essa receita representa um montante menor quando comparada ao custo total do investimento. Assim, quando incorrem os juros, a receita dos CERs é menos afetada do que os custos do projeto. Outro fator é o prazo de incidência dos juros sobre as receitas e os custos. Como os CERs são negociados no ano 1, eles sofreram menor influência da taxa de desconto.

Quadro 7 – Análise de sensibilidade do VPL considerando a venda dos CERs, variando a uma taxa de -20% e +20% nos custos e nas receitas do consórcio

Variáveis	VPL (R\$/ha)		
	-20%	0%	20%
Preço da borracha	9.470,78	12.856,05	6.241,32
Preço do cacau	9.291,12	12.856,05	16.420,98
Preço dos CERs	11.755,65	12.856,05	13.956,45
Taxa de juros	19.222,79	12.856,05	8.516,33
Custo de mão-de-obra	16.142,09	12.856,05	9.570,01

A maior influência da variável preço do cacau no critério VPL, em relação às variáveis preço da borracha e preço dos CERs, é justificada pelo montante das receitas advindas do produto.

Pelas análises realizadas utilizando-se a ferramenta “atingir meta” do programa Excel, verificou-se que, mantendo os custos de produção e a taxa de desconto de 10% a.a, o projeto será viável economicamente, mesmo sem as receitas dos CERs.

Quando considerados os CERs, observou-se que o preço da borracha poderia sofrer redução de até 76% e o projeto continuaria viável. Nessa situação, constatou-se que o preço do cacau poderia cair até 72% em relação ao preço atual, a arroba de cacau poderia ser comercializada a R\$ 19,51 e o projeto manter-se-ia viável.

Em relação ao item de custo mão-de-obra, que foi de R\$ 17,72/dia (considerando o salário de R\$ 260,00, encargos de 50% e 22 dias úteis por mês), observou-se que este valor deve ter um acréscimo de até 78%, ou seja, atingir no máximo R\$ 31,59/dia para que o projeto se mantenha viável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos dados deste estudo, pode-se verificar que:

- O estoque de carbono estimado do consórcio seringueira-cacau aos 34 anos é de 106,91 tC/ha, o que corresponde a 393 CERs/ha.
- O custo de manutenção é o principal componente do custo total do consórcio, representando 53% .
- O custo de transação do projeto dos CERs, por hectare, corresponde a 0,6% do custo total.
- O custo da mão-de-obra é responsável por 61% do custo total do

Seqüestro de Carbono

consórcio, sendo 50% referente à sangria.

- O consórcio mostra-se uma atividade economicamente viável para os cenários com e sem os CERs.
- Os CERs aumentam em 70% a viabilidade do consórcio quanto ao critério do VPL, o que torna o empreendimento mais atrativo.
- A taxa de juros é o item que mais afeta a viabilidade econômica do consórcio.
- Mantendo o preço do cacau na venda dos CERs, o preço da borracha pode sofrer redução de até 76% e ainda assim o projeto é viável.
- Sendo mantido o preço da borracha na venda dos CERs, o preço do cacau pode sofrer uma redução de até 72% e também assim o projeto é viável.
- Com a permanência dos preços da borracha e do cacau na venda dos CERs, o custo da mão-de-obra pode sofrer acréscimo de até 78% e ainda assim o projeto tem viabilidade.
- O consórcio é uma opção de projeto com potencial de aprovação pela Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, na modalidade de Mecanismo de Desenvolvimento Limplo, proposta no Protocolo de Quioto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2004 - Anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2004. 456 p.

ALVIM, R. O cacaueiro (*Theobroma Cacao L.*) em sistemas agrossilviculturais. **Agrotrópica**, Brasil, v.1, n.2, p. 89-103, maio/ago. 1989.

ALVIM, R; VIRGENS FILHO, A.C.; ARAÚJO, A.C. **Agrossilvicultura como ciência de ganhar dinheiro com a terra:** recuperação e remuneração antecipadas de capital no estabelecimento de culturas perenes arbóreas. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 1989. 36p. (Boletim técnico, 161).

BORRACHA Natural Brasileira - Borracha via e-mail, v. 5, n. 203, 23 nov. 2004. Disponível em <http://www.borrachanatural.agr.br/borrachaviaemail/html/i041123.htm>. Acesso em: 19 nov. 2004.

CARMO, C. A. F.S. et al. **Estimativa do estoque de carbono na biomassa do clone de seringueira RRIM 600 em solos da Zona da Mata mineira.** Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2003. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; 28 - 2º).

COTTA, M.K. **Quantificação de biomassa e geração de certificados de emissões reduzidas no consórcio seringueira-cacau.** Viçosa: UFV, 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa.

DEWAR, R.C.; CANNELL, M.G.R. Carbon sequestration in the trees, products and soils of forest plantations: an analysis using UK examples. **Tree Physiology**, Victoria, v. 11, n. 1, p. 49-71,1992.

Seqüestro de Carbono

FACE - Forest Absorbing Carbon Dioxide Emission. **Annual Report 1993.** Arnheim, Netherlands:1994.

FANCELLI, A.L. Culturais intercalares e cobertura vegetais em seringais. In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DA SERINGUEIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO, 1., 1986, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 229-243.

FEARNSIDE, P. M. Biomassa das florestas amazônicas brasileiras. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x “SEQÜESTRO” DE CO₂: UMA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994: Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 95-124.

FERNANDES, T.J.G. **Análise econômica do seqüestro de CO₂ pela heveicultura.** 2003, 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

FERREIRA NETO, J. **Estimativa de custo de produção de seringais de cultivo nos estados do Espírito Santo e Minas Gerais.** Lavras: ESAL, 1985. 68 p. Dissertação (Mestrado em Administração Rural) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.

GRAMACHO, I. C. P. et al. **Cultivo e beneficiamento do cacau na Bahia.** Ilhéus: CEPLAC, 1992. 124 p.

HAITES, E. **Estimating the market potential for the clean development mechanism: review of models and lessons learned.** Washington, D.C.: IETA; PCFPlus, 2004. 102 p. (PCFPlus report; n. 19). Disponível em : <<http://carbonfinance.org/docs/EstimatingMarketPotential.pdf>> Acesso em: 10 nov. de 2004.

Seqüestro de Carbono _____

INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION. **Daily Cocoa Bean Prices.** [S.I.], 2004. Disponível em: <<http://www.icco.org/prices/pricesave.htm>> Acesso em: 16 out. 2004.

LECOCQ, F. **State and trends of carbon market 2004.** Washington, D.C.: Carbon Finance, 2004. 42 p. Disponível em: <<http://carbonfinance.org/docs/CarbonMarketStudy2004.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2004.

MACEDO, R.L.G. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. 157p.

MARQUES, J.R.B.; MONTEIRO, W.R.; LOPES, U.V. Seringueira: uma opção econômica e ecológica para sombreamento de cacaueiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2002. CD-ROM 6-006.

NAIR, P.K.R. **Agroforestry systems in the tropics.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1989, 644 p.

PANDEY, D. N. Carbon sequestration in agroforestry systems. **Climate Policy**, volume 2, n.4, p. 367-377, dez., 2001.

PEREIRA, A.V.; PEREIRA, E.B.C.; FIALHO, J.F.; JUNQUEIRA, N.T.V. **Seringueira em sistemas florestais.** Planaltina: EMBRAPA/CPAC, 1997. 45p. (Documentos, 63).

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais.** Viçosa: Editora UFV, 2001. 389 p.

SANQUETA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono.** Curitiba: UFPR, Impr. Univ., 2002. p. 119-140.

Seqüestro de Carbono

SEBRAE - MG. **Plano de negócios: manual do aprendiz.** [Belo Horizonte], 2002. 146 p.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 533-539, set/out, 2002.

TEIXEIRA, L.B.; BASTOS, J.B.; OLIVEIRA, R. F. **Biomassa vegetal em agroecossistemas de seringueira consorciada com cacaueiro no Nordeste Paranaense.** Belém: EMBRAPA CPATU, 1994. 15 p. (EMBRAPA CPATU. Boletim de Pesquisa; 153).

TEIXEIRA, L.B.; OLIVEIRA, R. F. **Biomassa vegetal e carbono orgânico em capoeiras e agroecossistemas no Nordeste do Pará.** Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 1999. 21 p. (EMBRAPA Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa; 6).

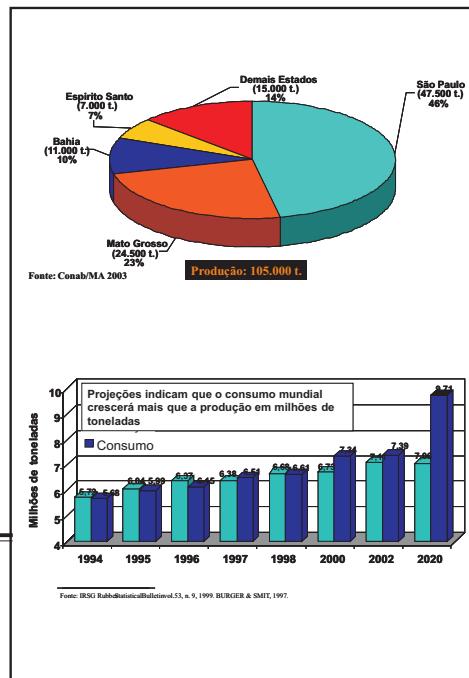
VIRGENS FILHO, A.C.; ALVIM, R.; ARAÚJO, A.C. Plantio de cacaueiros sob seringais adultos na região sul Bahia. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE PESQUISAS EM CACAU, 10., 1988, Santo Domingo. **Anais...** Santo Domingo, República Dominicana, 1987. p. 33 - 41.

VIRGENS FILHO, A. C. **Programa de desenvolvimento do agronegócio da borracha no Estado da Bahia - PRODEAB.** [Ilhéus]: CEPLAC, 2002. 119 p.

Seqüestro de Carbono _____

Capítulo 13

Patrícia Lopes Rosado¹
Mônica de Moura Pires²
Dione Fraga dos Santos³



O AGRONEGÓCIO DA BORRACHA NATURAL

- ¹ Professora da Universidade Estadual de Santa Cruz, Departamento de Ciências Econômicas, Ilhéus BA.
e-mail: patriciarosado@yahoo.com.br.
- ² Professora Adjunta da Universidade Federal de Santa Cruz, Departamento de Ciências Econômicas, Ilhéus, BA.
- ³ Professora Adjunta I - FEA- ANE -Universidade Federal de Juiz de Fora
e-mail: dione.fraga@terra.com.br.

INTRODUÇÃO

A borracha natural é matéria-prima agrícola essencial para a manufatura de uma variedade de produtos. As suas características, elasticidade, plasticidade, resistência ao desgaste, propriedades isolantes de eletricidade e a impermeabilidade a líquidos e gases, fazem com que seja, muitas vezes, insubstituível.

A seringueira, planta de onde se retira o látex para a confecção da borracha natural é uma planta rústica, perene, adaptável a grande parte do território nacional. Pouco exigente em fertilidade do solo, pode ser uma opção desejável para áreas degradadas, oferecendo-lhes cobertura vegetal. A sua exploração econômica proporciona vantagens comparativas, de implantação, uniformidade genética, longevidade na produção, além de ser uma cadeia produtiva altamente dependente de mão-de-obra, o que a torna relevante do ponto de vista social.

Dada a grande importância do agronegócio da borracha natural no Brasil, este capítulo apresenta, de maneira sumarizada, as principais tendências de produção, exportação, consumo, importação e também dos fatores que afetam o seu comércio internacional. O posicionamento do Brasil no mercado internacional e dos principais estados produtores no país é analisado visando identificar as tendências e possíveis estratégias para o aumento da competitividade.

MERCADO INTERNACIONAL

O processo de industrialização das economias tem implicado uma procura cada vez maior pela borracha. Esse crescente aumento da demanda mundial provocou relevantes mudanças no mercado, especialmente com a perda da

Seqüestro de Carbono

borracha extrativa em favor da borracha cultivada. Tal situação implicou o deslocamento dos países ofertantes da América para o Sudeste Asiático.

A produção mundial praticamente dobrou ao longo dos últimos 15 anos, passando de 5,1 milhões de toneladas, em 1990, para 9,1 milhões em 2005, uma taxa de crescimento anual de 4,05% (Tabela 1). Comparando-se a produção de 2005 com a de 1990 e 1995, observa-se crescimento de 78% e 50,1%, respectivamente.

Praticamente, todos os principais produtores apresentaram aumento da produção ao longo desse período, à exceção da Malásia, onde não houve crescimento, e do Sri Lanka, que teve redução de 1,46%. Entre os principais países produtores, destacam-se Tailândia e Indonésia (Tabela 1), que produziram, em 2005, 33,1% (3 milhões de toneladas) e 23,3% (2,1 milhões de toneladas), respectivamente, ou seja, mais de 50% do total mundial. Em 1990, a participação tailandesa, na oferta mundial, foi de 1,8 milhão de toneladas (aproximadamente 25% da produção mundial), um crescimento anual, no período de 1990 a 2005, de quase 6%. A taxa de crescimento da Indonésia, para o mesmo período, foi de aproximadamente 4%.

Tabela 1 - Produção mundial de borracha natural, em mil toneladas (peso da borracha seca), 1990 a 2005

Ano	Tailândia	Indonésia	Malásia	Índia	China	Vietnã	Sri Lanka	Brasil	Outros	Total
1990	1271	1262	1291	324	296	...	113	30	566	5120
1991	1341	1284	1256	360	296	...	104	30	499	5170
1992	1531	1387	1173	383	309	...	106	31	530	5450
1993	1553	1301	1074	428	326	...	104	41	482	5310
1994	1718	1359	1101	464	374	156	105	45	399	5720
1995	1805	1455	1089	500	424	155	106	44	493	6070
1996	1970	1527	1083	540	430	220	113	53	504	6440
1997	2031	1505	971	580	444	212	106	61	550	6460
1998	2076	1714	886	591	450	218	96	70	720	6820
1999	2155	1599	769	620	460	230	97	87	804	6820
2000	2346	1501	615	629	445	291	88	88	757	6760
2001	2320	1607	547	632	464	317	86	88	1149	7210
2002	2632	2186	890	650	527	373	91	96	690	8135
2003	2861	2203	986	711	565	384	92	96	726	8624
2004	3005	2066	1174	749	600	401	93	97	746	8931
2005	3020	2128	1174	780	625	450	93	97	747	9114
TGC (%)	5,87***	3,80***	ns	5,59***	5,02***	10,40***	-1,46***	9,66***	4,10***	4,05***

TGC – taxa geométrica de crescimento.

***Nível de significância de 1%, teste t de Student, ns – não significativo.

Fonte: FAO (2006).

Países como Vietnã e Brasil, que representaram 5% e 1%, respectivamente, da produção em 2005, vêm apresentando um crescimento significativo, atingindo, praticamente, o percentual de 10% a.a. Diferentemente do Brasil, que há muito tempo produz borracha, o Vietnã começa a figurar nas estatísticas a partir da primeira metade da década de 1990, o que mostra, em certa medida, um crescimento acelerado da produção nesse país. Tal situação é resultado dos incentivos concedidos às indústrias de beneficiamento locais para a formação de novos seringais. As facilidades oferecidas vão desde a implantação do seringal até o início da produção, e com isso o Vietnã vem tendo, cada vez mais, relevância no mercado internacional de borracha natural.

A Malásia, que durante muitos anos configurou-se como maior produtor mundial, apresentou tendência de estabilização da produção, decorrente de restrições de expansão da área, da produtividade, da concorrência com outros cultivos e do aumento da oferta de outros países.

Já a Índia teve, no período de análise, um crescimento anual de quase 6%. Em 1990, foram produzidas 324 mil toneladas e, em 2005, mais do que o dobro, 780 mil toneladas de borracha natural, significando 8,6% da produção mundial.

A produção dos quatro principais produtores (Tailândia, Indonésia, Índia e Malásia) representou, em 2005, cerca de 78% do total mundial, indicando assim a grande importância que esses produtores exercem no mercado internacional de borracha natural. Outro país que tem ampliado a produção é a China, pois, em 1990, produziu 5,8% do total mundial; em 2005 sua participação chegou a quase 7%, com crescimento, ao longo do período 1990-2005, de 5% ao ano. Pode-se perceber que os países do sudeste asiático, à exceção do Sri Lanka, vêm aumentando sua produção, conforme percentuais da taxa de crescimento (Tabela 1). Isso pode ser explicado pelo processo de industrialização dessas economias na última década, exigindo assim maior oferta desse tipo de matéria-prima.

Seqüestro de Carbono

Quanto às exportações mundiais de borracha natural (Tabela 2), os três maiores produtores são também os maiores exportadores. Em 2004, o volume exportado de borracha natural desses três países representou quase 83% do total (5,4 milhões de toneladas). Esses valores mostram a significativa relevância desses países e indicam um mercado extremamente concentrado, caracterizando uma estrutura oligopolista de produção. Além disso, a produção desses países é essencialmente destinada ao mercado internacional. Em termos de crescimento, percebe-se que, no período de 1990 a 2004, as exportações da Tailândia e Indonésia apresentaram uma taxa de crescimento anual de 4,68% e 2,88%, respectivamente, diferentemente da Malásia, que teve sua produção estagnada.

Tabela 2 - Exportação mundial de borracha natural, em mil toneladas (peso da borracha seca), 1990 a 2004

Ano	Tailândia	Indonésia	Malásia	Vietnã	Libéria	Nigéria	Sri Lanka	Outros	Total
1990	1151	1077	1186		19	121	87	349	3990
1991	1231	1220	1041		32	63	76	277	3940
1992	1413	1268	939		30	70	79	241	4040
1993	1397	1214	770		45	80	70	294	3870
1994	1605	1245	782	136	10	50	69	333	4230
1995	1636	1324	778	138	13	99	68	284	4340
1996	1763	1434	710	195	30	49	72	327	4580
1997	1837	1404	587	194	67	53	61	367	4570
1998	1839	1641	425	191	75	47	41	421	4680
1999	1886	1495	436	230	100	38	43	422	4650
2000	2166	1380	196	269	105	36	33	775	4960
2001	2042	1497	162	292	107	30	32	968	5130
2002	2054	1487	809	351	109	24	35	321	5190
2003	2308	1648	868	345	104	26	35	499	5833
2004	2168	1863	1361	513	112	24	38	442	6521
TGC (%)	4,68	2,88	Ns	12,78	15,96	-9,79	-7,34	5,49	3,20

TGC – taxa geométrica de crescimento.

***Nível de significância de 1%, teste *t* de *Student*, ns – não significativo.

Fonte: FAO (2006).

Vietnã e Libéria, mesmo com participação de cerca de 8% e 2%, respectivamente, nas exportações totais apresentaram um crescimento anual significativo, o que denota a evolução dessa atividade nesses países, bem como o acirramento da concorrência no mercado externo. As taxas de crescimento desses países mostraram-se superiores a 12% ao ano (Tabela 2), indicando uma rápida expansão dos cultivos.

No Tabela 2, percebe-se também que, diferentemente dos outros países exportadores, a participação da Nigéria e do Sri Lanka nesse mercado foi reduzindo-se ao longo do tempo. Em 1990, as exportações nigerianas representavam 3% do total mundial, e a do Sri Lanka 2%; em 2004, essa participação não chegou a 1%. Isto pode ser verificado por meio das taxas anuais de crescimento pois demonstram, em termos relativos, um decréscimo nos últimos 15 anos.

A demanda mundial de borracha natural aumentou, na última década, mais de 3% ao ano (Tabela 3), e, mesmo com o crescimento da produção, esta, algumas vezes, é insuficiente para atender o mercado. Praticamente, a produção está ajustada ao consumo e, em alguns anos, percebe-se que este tem sido superior à produção, implicando um déficit de oferta. Ademais, a incorporação de novos cultivos só responderá em um período de aproximadamente sete anos, quando ocorrerá a primeira colheita. A produtividade máxima só acontece em torno de 12 anos após o plantio.

Tal conjunção de fatores tem elevado os níveis de preços praticados no mercado internacional, afetando as indústrias de beneficiamento dessa matéria-prima. A expectativa é de que essa escassez se agrave nos próximos anos, resultante do aumento do consumo da China, da estagnação da produção da Malásia, do pouco crescimento da oferta de importantes países asiáticos e da elevação dos preços do petróleo, o que afeta o concorrente direto da borracha natural, a borracha sintética. Esse panorama do setor poderá afetar

sobremaneira as economias de países desenvolvidos e em desenvolvimento, constituindo um freio para setores importantes e impulsionadores do desenvolvimento local.

Comparando a produção e o consumo dos principais países produtores e consumidores, observa-se que, exceto a China, a Índia e o Brasil, onde a borracha produzida é consumida, há um intenso fluxo de exportação (Tabelas 1, 2 e 3). Nesse mercado destacam-se China, Estados Unidos, Japão, Índia, França, Alemanha e Brasil. Em 2004, o consumo desses países representou mais de 60% do total mundial, isto é, a China consumiu 19%, os Estados Unidos 13%, Japão 10%, Índia 9%, França 3,5%, Brasil 3% e Alemanha também 3%.

Conforme a Tabela 3, o crescimento anual da China, de 1990 a 2004, foi superior a 7%, o que pode ser explicado pelas grandes transformações econômicas observadas ao longo da última década, especialmente nas indústrias de fabricação de pneus e de artefatos de borracha, como a fabricação de brinquedos, pois, em 1990, a China consumia 600 mil toneladas (quase 12% do total mundial), passando para 1,6 milhão de toneladas (aproximadamente 19% do consumo total) (Tabela 3). Além disso, a borracha natural representa cerca de 40% do total do consumo interno, fazendo com que esse país, de certo modo, estabeleça uma “barreira” para elevações muito acentuadas de preço no mercado internacional.

Tabela 3 - Consumo mundial de borracha natural, em mil toneladas (peso de borracha seca), 1990 a 2004

Ano	China	EUA	Japão	Índia	França	Alemanha	Brasil	Outros	Total
1990	600	808	677	358	179	221	125	1982	5200
1991	610	756	690	375	183	209	125	1912	5100
1992	640	910	685	405	179	211	119	1999	5390
1993	650	967	631	444	169	213	125	1993	5380
1994	720	1002	640	473	180	186	145	2070	5650
1995	780	1004	692	517	176	212	155	2195	5950
1996	810	1002	715	558	182	193	161	2279	6110
1997	910	1044	713	572	192	212	161	2418	6460
1998	839	1157	707	580	223	247	185	2346	6570
1999	852	1116	734	619	253	226	184	2412	6660
2000	1080	1195	752	638	309	250	227	2616	7340
2001	1215	974	729	631	282	245	216	2544	7080
2002	1310	1111	749	680	231	247	239	2733	7520
2003	1485	1079	784	717	300	251	246	2700	7910
2004 ¹	1595	1085	787	750	290	255	260	3158	8180
TGC (%)	7,29	2,21	1,23	5,26	4,46	1,70	7,00	3,19	3,51

TGC – taxa geométrica de crescimento.

***Nível de significância de 1%, teste *t* de Student, ns – não significativo.

Fonte: AGRIANUAL (2005), ¹IRGS (Rubber Statistical Bulletin), 2006.

Em relação aos Estados Unidos, a demanda vem crescendo, mas sem apresentar grandes oscilações de consumo, pois os setores industriais que utilizam essa matéria-prima são mercados relativamente estáveis.

A Índia e o Brasil vêm apresentando taxas anuais de crescimento da demanda de 5,26% e 7% (Tabela 3), respectivamente, superiores à taxa mundial (3,51%). No caso do Brasil, o bom desempenho do setor automobilístico tem impulsionado a indústria de artefatos de borracha e, mesmo com o crescimento da produção, esta não tem sido suficiente para suprir a demanda, implicando um persistente déficit de oferta, obrigando o país a importar o produto.

Entre os países asiáticos, o Japão, nos últimos anos, vem se destacando no mercado consumidor de borracha natural. O produto conseguiu penetrar nesse mercado em virtude da industrialização crescente desse país.

É importante salientar que praticamente todos os produtos feitos de borracha natural admitem, em sua composição, a mistura com o produto sintético, que é comparativamente mais barato. Enquanto, na média mundial, utilizam-se entre 20 e 40% de borracha natural em relação ao total, na Índia esse percentual chega a 70% (MORCELI, 2003), o que mostra a sua dependência. A redução desse percentual nesse País provocaria impactos relevantes no mercado internacional, afetando oferta e preço dessa matéria-prima.

A maior parte da borracha natural, cerca de 70%, tem como destino a produção de pneus em seus mais diversos usos (MORCELI, 2004). O mercado de pneumáticos é, na sua maioria, extremamente concentrado em grandes conglomerados, que têm poder de pressão na formulação dos preços de compra da matéria-prima. Além disso, os principais países produtores são em grande parte economias subdesenvolvidas ou em desenvolvimento e que têm um forte vínculo às divisas geradas com tal produto. Tudo isso interfere na determinação do preço, criando uma relação de dependência entre vendedores e

compradores, em que estes últimos acabam, quase sempre, definindo os preços a serem praticados. Segundo Morceli (2004), alguns países produtores, como Tailândia, Indonésia e Malásia, procuraram romper tal situação de dependência, firmando um acordo em dezembro de 2001, para a formação do *International Tripartite Rubber Cooperation* (ITRC), objetivando reduzir a produção em 4% e as exportações em 10%. Em outubro de 2003, esses países estabeleceram um novo acordo (*International Rubber Consortium Limited*), estipulando mecanismos de controle de estoques, do comércio e dos preços da borracha. Tais medidas tiveram efeito sobre os preços, provocando uma elevação. Isso mostra que, em função da especificidade da cultura (ciclo longo, incapacidade de respostas rápidas da produção às alterações de mercado), as variações de preço não resultam apenas das condições de oferta e demanda, mas, principalmente, de fatores externos, como medidas e acordos estabelecidos entre países produtores e compradores, bem como da vulnerabilidade das economias dos países produtores.

No que tange às importações mundiais, estas vêm crescendo de 1990 a 2004, a uma taxa anual de 3% (Tabela 4); oito países absorvem cerca de 70% do total das importações, destacando-se China, Estados Unidos e Japão.

O processo de industrialização da China tem provocado um aumento relevante das importações de borracha natural, o que pode ser comprovado pelo nível de crescimento anual das importações ao longo dos últimos 14 anos, que se encontra em mais de 11% ao ano. Em termos relativos, as importações chinesas que representavam 8,4% (340 mil toneladas) do total em 1990 passaram, em 2004, para aproximadamente 21% (1,2 milhão de toneladas) do total (Tabela 4). É interessante notar que países como Espanha, França e Brasil vêm apresentando taxas de crescimento anuais crescentes e superiores à mundial, o que denota a relevância dessa matéria-prima para esses mercados.

Seqüestro de Carbono

Diferente dos principais países importadores, a Rússia não apresentou crescimento das importações no período 1990-2004, e a sua importância relativa vem reduzindo ano a ano (Tabela 4).

Tabela 4 – Importação mundial de borracha natural, em mil toneladas (peso da borracha seca), 1990 a 2004

Ano	França	Alemanha	Espanha	URSS /Rússia	EUA	Brasil	China	Japão	Outros	Total
1990	178	209	119	152	820	88	340	663	1501	4069
1991	170	211	101	78	776	95	312	691	1409	3843
1992	174	213	109	13	913	86	335	676	1498	4016
1993	170	175	109	29	987	101	325	637	1431	3953
1994	180	187	103	13	976	92	314	644	1565	4088
1995	176	212	130	13	1026	106	297	696	1566	4222
1996	182	193	130	16	1014	107	490	724	1546	4392
1997	192	212	148	9	1044	100	362	730	1625	4423
1998	223	247	159	7	1177	115	411	678	1710	4726
1999	253	226	161	16	1116	98	402	755	1659	4685
2000	309	250	171	36	1192	139	820	802	1778	5496
2001	282	245	184	33	972	128	943	713	1697	5197
2002	249	245	178	15	1008	132	957	770	1683	5237
2003	314	262	184	29	1006	150	1181	794	1754	5674
2004	240	210	187	26	1046	171	1209	796	1881	5766
TGC (%)	4,43	1,67	4,92	ns	1,66	4,24	11,18	1,43	1,71	3,03

TGC – taxa geométrica de crescimento.

***Nível de significância de 1%, teste *t* de Student, ns – não significativo.

Fonte: FAO (2006).

MERCADO NACIONAL

A invenção do processo de vulcanização no século XIX, tendo a borracha natural como fonte de matéria-prima, provocou uma crescente demanda por esse produto, levando o Brasil a explorar os seringais nativos da região Amazônica e constituir-se no maior produtor e exportador. Assim, a partir de 1841, a borracha natural passa a ter papel relevante na economia nacional, atingindo entre 1880 e 1910 o auge, tornando-se o segundo produto mais importante na pauta das exportações brasileiras, com participação de 28% do total. Nesse contexto, a exploração dos seringais nativos da região Amazônica proporcionou e sustentou um dos mais importantes ciclos de desenvolvimento do Brasil, o Ciclo da Borracha (MORCELI, 2004). Entre a segunda metade do século XIX e a segunda década do século XX, grandes empresas e bancos instalaram-se naquela região, especificamente em Manaus e Belém, exclusivamente em função da borracha, o que propiciou ao Brasil tornar-se exportador dessa matéria-prima.

No início do século XX, esse produto tornou-se uma matéria-prima imprescindível às economias desenvolvidas, transformando o controle de seu suprimento em elemento de peso na disputa político-econômica (PINTO, 1984). O resultado da interferência dessas economias no mercado produtor dá-se por meio da transferência do eixo produtor da Amazônia para o Sudeste Asiático, via expansão de cultivos, declínio do extrativismo e substituição da borracha natural pela sintética.

A empreitada de substituir o extrativismo pelo cultivo não era algo fácil, pois a falta de conhecimento agronômico das espécies vegetais e a exigência de recursos para a maturação a longo prazo implicavam relevantes riscos de investimento. Por outro lado, os preços crescentes no mercado internacional constituíam-se em estímulo à produção.

Essas transformações observadas em nível mundial interferiram sobremaneira na economia da borracha no Brasil, durante o século XX. Na primeira metade desse século, observou-se uma tendência declinante da produção nacional, a qual registrou seu menor patamar, 6 mil toneladas em 1931, apesar de medidas de política econômica de incentivo ao setor, como concessões de terra a iniciativas privadas, especialmente na região Amazônica, e introdução do cultivo no sul da Bahia, considerado tecnicamente inadequado.

A 2^a Guerra Mundial e a necessidade de suprir a demanda dos países aliados levaram o governo americano a estabelecer acordos com o Brasil, por meio de programas emergenciais, levando ao monopólio estatal para garantia de compra e revenda do produto e elevação do nível de produção, que chegou a 24,7 mil toneladas em 1947 (BAHIA, 1982). Após a Guerra, houve uma queda de demanda, acarretando acentuada pressão baixista sobre os preços no mercado internacional, inviabilizando a produção prioritariamente extractiva da borracha brasileira, que tinha elevados custos de produção e baixa competitividade.

Os governos, instalados a partir da segunda metade do século XX, promoveram diversas iniciativas de políticas econômicas que objetivaram a expansão da atividade no Brasil. Entretanto, a baixa produtividade dos seringais brasileiros, em função das técnicas de cultivo adotadas e da ocorrência do mal-das-folhas, provocou seguidamente perda de participação nacional no mercado mundial. O declínio da produção brasileira aliado a outros fatores, como expansão da produção asiática e aumento da demanda por borracha em função do crescimento da indústria automobilística, muda drasticamente a condição do país de exportador para importador, criando um hiato, que perdura até os dias atuais, entre produção e consumo. A adoção de medidas políticas para ampliação da capacidade produtiva do país, por parte do governo brasileiro, foi tardia e, em muitos casos, equivocada.

Diante do processo de industrialização do país nos anos 50, com a chegada das indústrias automobilísticas, que levaram ao aumento da demanda por borracha, instalou-se um desequilíbrio entre produção e consumo e o país foi então obrigado a importar borracha para atender à indústria local. Esse novo cenário fez com que o país adotasse uma série de medidas de política econômica, de curto e longo prazo, visando o aumento da produção dessa matéria-prima.

Em 1967, com a criação da Superintendência da Borracha (SUDHEVEA), à qual cabia a execução de toda a política para o setor gumífero, foram implementadas medidas que abrangiam a organização do mercado, produção e comercialização do produto, incentivos à industrialização e ao parque manufatureiro, entre outros. Em fins de 1972, o governo federal instituiu o Programa de Incentivo à Produção de Borracha Natural (PROBOR), objetivando desenvolver a heveicultura nacional, muito embora suas ações também privilegiassem a produção extrativa, que, naquela época, era responsável por mais de 90% da produção nacional. Posteriormente, esse programa tem seus desdobramentos, em 1978 e 1982, com o PROBOR II e PROBOR III, respectivamente. Os resultados dessas medidas foram o crescimento da produção, que passou de 23,4 mil toneladas em 1973 para 35,2 mil em 1983, e o seu contínuo aumento na década de 80, conforme dados da SUDHEVEA, fruto da ampliação da área plantada, da recuperação de seringais já estabelecidos com nova estrutura tecnológica e do apoio a programas de pesquisas, visando aumento de produtividade. Percebe-se a crescente interferência do governo no mercado de borracha natural com o objetivo precípua de atingir a auto-suficiência e retornar à condição de exportador dessa matéria-prima.

Com tais medidas, que procuravam estimular e apoiar a heveicultura, o país não conseguiu atingir as metas, pois a maior parte dos investimentos concentrou-se na região Amazônica, e os resultados foram muito aquém das expectativas. Os motivos desse insucesso foram diversos, desde dificuldades

agronômicas (infestações de pragas e doenças) na região até o mau uso dos recursos públicos (MORCELI, 2004). Assim, os objetivos de organizar o mercado, visando escoamento e garantia de regularidade do suprimento de borracha e de seus artefatos, incentivar a industrialização da borracha natural e coordenar a produção da natural e da sintética não foram alcançados. No entanto, ações isoladas em algumas regiões do país, especialmente na Bahia e em São Paulo, na década de 1950, de certa forma sustentaram a atividade ao longo das últimas décadas.

Ao analisar o mercado de borracha natural de 1990 a 2004, observa-se crescimento anual do consumo e da produção em valores acima de 6% e 10%, respectivamente (Tabela 5). No entanto, mesmo com uma taxa de crescimento anual superior ao consumo, a produção interna não tem sido suficiente, implicando importação da matéria-prima para suprir o déficit de oferta. Se, por um lado, as medidas de política conseguiram incrementar a produção, por outro não conseguiram acompanhar a expansão da demanda, que, ao longo do tempo, tem sido superior à oferta, fazendo com que o país seja persistentemente um importador líquido, criando uma forte dependência do mercado externo, como pode-se perceber na relação importação/consumo da Tabela 5. Tal fato expõe o país às oscilações dos preços internacionais, com reflexos na balança comercial e no suprimento de demanda interna.

Analisando as possibilidades de expansão da produção brasileira de borracha natural diante dos concorrentes, sabe-se que o Brasil possui potencialidade considerável, em função da incorporação de novas áreas e de manejo mais adequado aos cultivos. Há também uma relativa variação ano após ano, fruto das oscilações da oferta e do consumo. O crescimento da produção interna tem como finalidade amenizar as flutuações de preço e a dependência externa.

Seqüestro de Carbono

Tabela 5 - Produção, importação e consumo de borracha natural no Brasil, em toneladas (peso da borracha seca), 1990 a 2004

Ano	Produção	Consumo (A)	Importação (B)	Relação (B/A)
1990	30826	124109	80806	65%
1991	29587	122929	87319	71%
1992	30712	123353	103836	84%
1993	40663	131717	98599	75%
1994	44617	142088	96945	68%
1995	44297	156313	104106	67%
1996	53438	150602	107329	71%
1997	61000	161000	100000	62%
1998	70000	185300	115300	62%
1999	86500	184100	97600	53%
2000	87800	226600	138800	61%
2001	88100	215900	127800	59%
2002	95900	239000	142100	59%
2003	96000	246000	150000	61%
2004	97000	268000	171000	64%
TGC (%)	10,32	6,17	4,42	-

TGC – taxa geométrica de crescimento.

***Nível de significância de 1%, teste *t* de *Student*.

Fonte: AGRIANUAL (2005).

O suprimento de matéria-prima para a indústria nacional é originário, basicamente, da Tailândia, da Indonésia e da Malásia, porém, nos últimos dois anos, o país vem importando da Índia. As importações brasileiras da borracha natural (Tabela 6) são basicamente sob a forma de látex, folhas fumadas e borracha granulada ou prensada, destacando-se essa última por possuir maior peso em termos de valor importado.

Com relação às oscilações de preço, alguns fatores internos e externos têm contribuído para tal fato, como o comportamento altista dos preços de

Seqüestro de Carbono

petróleo, insumo básico para a fabricação da borracha sintética; a flutuação das cotações do dólar americano; a instabilidade político-econômica nos principais países produtores, especialmente na Tailândia, na Indonésia e na Malásia, que são os principais fornecedores do Brasil; e o desaquecimento das economias de países desenvolvidos.

Tabela 6 – Importação brasileira de borracha natural, em toneladas (peso líquido), 1989 a 2005

Ano	Látex	Folhas fumadas	Borracha granulada ou prensada	Borracha crepada	Tecnicamente especificada (TSNR) em outras formas	Outras formas
1989	5723	39304	50193	315	1150	178
1990	5143	39154	46885	394	96	1416
1991	7386	40413	49034	282	35	876
1992	6950	36428	44330	563	43	118
1993	10187	32549	61623	501	76	75
1994	9869	34437	55022	447	0	106
1995	11288	41735	56845	384	66	141
1996	13001	29232	50422	168	60	211
1997	13873	23641	66224	148	324	823
1998	17845	25147	75950	288	290	1235
1999	19194	24320	60039	300	196	1343
2000	20078	33821	90282	493	241	2292
2001	21466	29439	81145	216	245	3955
2002	21813	37821	90607	181	187	2849
2003	19559	43178	105409	135	49	1305
2004	20575	41861	128286	212	310	740
2005	20597	41934	140711	255	91	338

Fonte: ALICEWEB (2006) – <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br>.

Seqüestro de Carbono

A partir da segunda metade do século XX, inicia-se a expansão do cultivo de borracha em regiões fora do eixo amazônico, provocando um deslocamento do eixo produtivo tradicional, que, nas décadas de 1970 e 1980, concentrava-se especialmente no Acre, no Amazonas, no Pará e em Rondônia, para Bahia, Mato Grosso, São Paulo e Espírito Santo e, mais recentemente, Minas Gerais. Até a década de 1980, a Bahia mantinha a liderança nacional da produção do seringal. No entanto, como as principais áreas produtoras localizavam-se na região sul do Estado, a heveicultura concorria diretamente com a cacauicultura, que era a principal atividade econômica.

Na década de 1990, com o declínio da cacauicultura, deu-se ênfase à heveicultura, proporcionando aumento da produção, com uma taxa de 6,12% ao ano (Tabela 7). Concomitantemente, a expansão da cultura em outros estados, especialmente em Mato Grosso e São Paulo, onde as condições edafoclimáticas eram favoráveis, propiciou uma paulatina mudança geoprodutiva, inicialmente liderada por Mato Grosso, no início da década de 1990, e posteriormente superada por São Paulo a partir de 1997.

Seqüestro de Carbono

Tabela 7 – Área plantada com borracha natural (látex coagulado) nos principais estados do Brasil, de 1990 a 2004 (em hectares)

Ano	São Paulo	Mato Grosso	Bahia	Espírito Santo	Minas Gerais	Pará	Brasil
1990	3717	42931	13517	429	-	2925	63641
1991	6270	19509	14015	768	120	3089	44071
1992	10143	13165	17633	2877	208	2365	47892
1993	13546	16940	16721	3031	204	2148	54960
1994	15421	20555	16827	3775	117	1922	62230
1995	16716	20988	14497	4504	223	1597	63283
1996	20083	24154	15790	4329	1118	1572	70078
1997	23193	17123	19487	4717	1228	921	71631
1998	25974	19563	25169	5169	1709	1974	85841
1999	27719	23470	21709	5518	1705	1857	87860
2000	28543	26198	26768	5890	1936	1947	96587
2001	29343	23007	31883	5921	2195	2400	100554
2002	32651	23065	27275	5895	2103	3380	103100
2003	33477	25536	29314	6551	2015	3422	108373
2004	35693	26454	26757	6631	2461	1255	108040
TGC (%)	14,61	ns	6,12	15,44	29,66	Ns	6,46

TGC – taxa geométrica de crescimento.

***Nível de significância de 1%, teste *t* de *Student*, ns – não significativo.

Fonte: IBGE (2006).

Em termos de produção, o Brasil vem reduzindo gradativamente o extrativismo dos seringais da Amazônia, mas, em compensação, vêm ocorrendo a incorporação de novas áreas de cultivo e a entrada de seringais adultos em produção, especialmente em São Paulo, Minas Gerais, Bahia e Espírito Santo, diferentemente do observado nos estados do Mato Grosso e Pará, que não apresentaram crescimento de área na década de 90 (Tabela 7).

A área plantada com essa cultura foi de 108 mil hectares em 2004, uma expansão de aproximadamente 70% em relação ao ano de 1990, devida, em grande parte, à progressiva ampliação dos seringais cultivados nos Estados de São Paulo, Bahia, Espírito Santo e Minas Gerais (Tabela 7).

O Estado de São Paulo é o que vem apresentando maior dinamismo nas últimas décadas. Na década de 1980, esse estado configurava-se com uma participação inferior a 10% do total da produção nacional; já na década de 1990, esse percentual era superior a 50% (mais de 88 mil toneladas) em 2004 (Tabela 8).

Conjuntamente, a produção de São Paulo, Espírito Santo e Minas Gerais, nos últimos anos, tem representado mais de 60% do total de borracha natural (látex coagulado) do país. Deve-se observar, também, que houve crescimento da produção do Mato Grosso, resultante do aumento da produtividade e da entrada de seringais, já estabelecidos, em produção.

O período de 1990 a 2004 foi marcado por um crescimento significativo da produção brasileira, conforme Tabela 8. Verifica-se que houve um expressivo crescimento da produção em Minas Gerais, nesse período, com a maior taxa de crescimento anual (43,06% ao ano). Em 1990, esse Estado nem configurava nas estatísticas do IBGE, mas, em 2004, sua participação atinge 2,5%, o que mostra um significativo crescimento ao longo dos anos.

Seqüestro de Carbono

Tabela 8 – Produção de borracha natural (látex coagulado), por estado brasileiro, 1990 a 2004 (em toneladas)

Ano	São Paulo	Mato	Bahia	Espírito	Minas	Brasil
		Grosso		Santo	Gerais	
1990	7689	4981	8743	587	-	24284
1991	13758	5734	9113	2221	103	32897
1992	22441	8300	11802	3969	135	48374
1993	27443	9661	11562	1923	228	54126
1994	31628	14237	11490	4127	219	65633
1995	36718	17865	14613	5628	203	78958
1996	42699	20860	15931	5841	923	89202
1997	48262	16219	12325	6071	1355	91042
1998	54888	24463	12573	6666	1764	109310
1999	60572	29880	14157	6429	2017	121302
2000	61007	37354	18810	6926	2558	135513
2001	62666	36040	19864	7019	7218	144093
2002	74011	28983	16715	7204	6937	145724
2003	81915	25187	22259	7624	7610	156318
2004	88157	30480	20780	8020	4170	164689
TGC (%)	15,47	14,19	6,07	13,64	43,06	13,41

TGC – taxa geométrica de crescimento.

***Nível de significância de 1%, teste *t* de *Student*.

Fonte: IBGE (2006).

Como a produção do látex coagulado apresenta fortes variações sazonais, o conhecimento dessas variações pode fornecer subsídios aos produtores no gerenciamento da produção (CORTEZ e MARTIN, 1996).

Em função do ciclo longo da cultura, observam-se dois tipos de comportamento cíclicos dos preços e, ou, da produção, denominados de ciclos plurianual e intra-anual (variação sazonal de preços). O tempo entre plantio e início da produção define os ciclos plurianuais. Na fase descendente da produção, há diminuição da oferta do produto no mercado internacional. Quando

os níveis de consumo internacionais se estabilizam ou expandem-se, os estoques reduzem-se e, conseqüentemente, provocam aumento de preço do produto em um segundo momento. Esse ciclo de produção descendente e de preços ascendentes caracteriza a primeira fase do ciclo plurianual.

Os preços em ascensão incentivam novos plantios de seringueira. Quando os novos seringais entram em produção, há acréscimos na oferta, o que permite aumento dos estoques dentro e fora dos países produtores e consumidores e provoca diminuição nos preços. Tem-se, assim, caracterizada a segunda fase do ciclo plurianual, em que a produção é ascendente, e os preços, descendentes. No começo dessa nova fase, pode haver elevação dos preços em decorrência do nível dos estoques, mas, no médio e no longo prazos, espera-se queda nos preços.

A duração de cada um desses ciclos poderá ser influenciada pelos anos que o seringal precisa para ter produção estável (12 anos) e por outros fatores como clima e acordos e políticas adotados pelos países produtores. Além disso, há o ciclo intra-anual, que está associado à sazonalidade do produto durante os meses do ano, caracterizando as fases de safra e entressafra da cultura.

Quanto aos preços no Brasil, o governo praticou, durante muito tempo, a política de garantia de preços pelo produtor e do controle de preços da borracha beneficiada pelas empresas de beneficiamento e indústria consumidora. O objetivo era garantir aos produtores e beneficiadores da matéria-prima um ganho com a atividade e, ao mesmo tempo, um nível de preços da matéria-prima que possibilitasse “garantir” o consumo final de produtos originados dessa fonte de insumo. Assim, o governo fixava três níveis de preço: o preço básico, que era o preço de garantia para o produtor e representava o preço mínimo a ser pago ao seringueiro ou produtor; o preço regulador, que era o preço denominado indicativo, que deveria ser praticado entre o usineiro ou comerciante e o seringalista (geralmente acrescentava 20% ao preço básico como margem de comercialização); e o preço de comercialização, que representava o preço

máximo da borracha natural beneficiada para repasse nos preços finais dos artefatos de borracha. Assim, o governo adotava uma política de proteção ao produto nacional, como forma de incentivar a expansão da produção interna e suprir o déficit de oferta, ao mesmo tempo em que imputava uma taxação por meio da Taxa de Organização e Regulamentação do Mercado da Borracha (TORMB), visando equalizar o preço externo ao do mercado doméstico.

PERSPECTIVAS PARA O MERCADO DE BORRACHA NATURAL

Dificilmente o governo federal retomará a política de subvenção econômica para a borracha natural, ainda mais em um mercado que, nos últimos três anos, tem conseguido remunerar satisfatoriamente o produtor. Isso tem estimulado a expansão da heveicultura em praticamente todas as regiões produtoras, o que pode ser comprovado pela taxa de crescimento anual da área plantada (1990 a 2004) dos Estados de Minas Gerais (29,66%), Espírito Santo (15,44%), São Paulo (14,61%) e Bahia (6,12%), o que implicará aumento relevante da oferta interna para os próximos 10 anos, quando os novos seringais deverão atingir a plena capacidade produtiva. No entanto, como há déficit de oferta e um consumo crescente a uma taxa superior a 6% ao ano (1990 a 2004), não deverá haver importantes alterações nos preços praticados internamente.

Como se sabe, porém, que os preços internacionais influenciam na formação do preço doméstico, caso os países asiáticos continuem com a política de restrição de oferta e demanda crescente da matéria-prima por parte da China, é provável que, a curto prazo, os preços aumentem, mas não é de se esperar a permanência desse comportamento altista, em razão de uma tendência, de longo prazo, de queda de preço.

Seqüestro de Carbono

A taxa de câmbio também se constitui em importante fator de estímulo ou desestímulo à produção. No entanto, como o tempo de resposta da oferta da borracha natural é relativamente longo, o efeito de variações nessa taxa acaba por se dissipar ao longo do tempo e, basicamente, influencia o balanço de pagamentos por meio das alterações nos níveis de importação dessa matéria-prima.

Os preços de petróleo constituem influência sobre o mercado de borracha natural, pois, como a borracha sintética, derivada do petróleo, é sua substituta direta, variações no preço do petróleo acabam por alterar os seus custos, consequentemente podem mudar a trajetória de demanda desses dois mercados. A expectativa é que os preços do petróleo continuem aumentando e, consequentemente, pressionem a demanda por borracha natural. Ademais, as questões de esgotabilidade do petróleo, que é um recurso de origem fóssil, tendem, em certa medida, a limitar a expansão da borracha sintética, diferentemente da produção de borracha natural em que essa restrição é menos perceptível.

Por fim, o desempenho das economias, interna e externa, tem, também, a capacidade de impulsionar a atividade dada a relevância da borracha natural no processo de desenvolvimento dos países. Assim, o ritmo de industrialização dos países desenvolvidos e em desenvolvimento tende a acelerar o consumo dessa matéria-prima, que, de certa forma, torna-se fundamental para solidificar a economia da borracha, o que é especialmente relevante para os principais países produtores que têm, nesse produto, importante fonte de geração de divisas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio. Anual.

A SERINGUEIRA na Bahia: alguns aspectos técnicos-econômicos. Salvador. Secretaria de Agricultura, 1960. 126 p.

BORRACHA natural na Bahia: situação atual e perspectivas. Salvador, [s.n.] 1982. 130 p.

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA. **Programa regional de pesquisas de seringueira**. Ilhéus: CEPEC, 1988. 31f. (mimeografado)

CORTEZ, J. V.; MARTIN, N. B. A sazonalidade da produção da seringueira e a política brasileira de contingenciamento da importação de borracha natural. **Informações Econômicas**. São Paulo, v. 26, n. 7, p. 45-54, 1996

DEAN, W. **A luta pela borracha no Brasil**. São Paulo: Nobel, 1989. 286 p.

GONÇALVES, P. de S.; PAIVA, J. R. de; SOUZA, R. A. de. **Retrospectiva e atualidade do melhoramento genético da seringueira (*Hevea spp*) no Brasil e em países asiáticos**. Manaus: EMBRAPA-CNPSD, 1983. 69 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de orçamentos familiares**. Rio de Janeiro, v. 15, n. 5, p. 1-84, 2003

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Anuário estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro.

MORCELI, P. Borracha natural: perspectivas para a safra de 2004/2005. **Revista de Política Agrícola**. Brasília, DF, n. 2, p. 56-67, abr/maio/jun, 2004.

PINTO, N. P. A. **Política da borracha no Brasil**: a falência da borracha vegetal. São Paulo: HUCITEC, 1984. 168 p.

Capítulo 14

Laércio Antônio G. Jacovine¹
Tarcísio José G. Fernandes²
Carlos Pedro Boechat Soares¹
Márcio Lopes da Silva¹
Antônio de Pádua Alvarenga³



A HEVEICULTURA E A GERAÇÃO DOS CERTIFICADOS DE EMISSÕES REDUZIDAS

-
- ¹ Professores do Departamento de Engenharia Florestal da UFV, e-mails: jacovine@ufv.br, csoares@ufv.br, marlosil@ufv.br
- ² Professor do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Acre – UFAC, e-mail: tjffernandes@yahoo.com.br
- ³ Pesquisador da EPAMIG, CTZM., e-mail: padua@epamig.ufv.br

INTRODUÇÃO

Dentre os projetos que podem ser utilizados para a compensação das obrigações dos países em desenvolvimento, estabelecidas no Protocolo de Quioto, destacam-se aqueles denominados de “sumidouros” de GEE (Gases de Efeito Estufa), notoriamente o CO₂, que é o principal responsável pelo aquecimento global. Entre eles, destacam-se o plantio de árvores ou a recuperação de ecossistemas florestais, os quais removem CO₂ da atmosfera à medida que a vegetação cresce, ou seja, através do processo fotossintético há o chamado “seqüestro” de carbono.

Nesse contexto surge a cultura da seringueira (heveicultura), que pode ser considerada uma das mais importantes alternativas, em particular para o Brasil. A heveicultura, devido a seu grande potencial de atendimento aos critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade elaborados pela Comissão Interministerial de Mudanças Climáticas do Ministério do Meio Ambiente (MMA), merece destaque diante das negociações sobre mudanças climáticas globais.

A heveicultura tem uma importância singular para o Brasil, pois, ao analisar o balanço do setor de borracha natural, considerando uma produção estabilizada e um crescimento no consumo de 3%, infere-se que até 2010 o país poderá ter que importar mais de 215 mil toneladas do produto, anualmente, para suprir a sua demanda interna. Assim, seriam gastos mais de 215 milhões de dólares anualmente com a importação da borracha natural. Ressalta-se também que a seringueira é uma das culturas com maior capacidade de gerar empregos fixos no meio rural, promovendo a fixação do homem no campo com dignidade e qualidade de vida. A cultura é um recurso renovável, podendo ainda restabelecer áreas degradadas, proteger o solo contra erosões, além de gerar outros benefícios sociais e ambientais que outras culturas não são capazes de contemplar.

Embora haja trabalhos com estimativas sobre o armazenamento de carbono pela cultura e a produtividade de borracha natural, existe uma carência de estudos que evidenciam o real potencial da heveicultura como alternativa econômica perante o MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo). Assim, a seguir, será apresentado um estudo de caso que analisa a contribuição dos Certificados de Emissões Reduzidas (CERs) na viabilidade econômica da heveicultura.

CONTRIBUIÇÃO DOS CERTIFICADOS DE EMISSÕES REDUZIDAS (CERS) NA VIABILIDADE ECONÔMICA DA HEVEICULTURA

No estudo desenvolvido por Fernandes (2003), a proposição de alguns cenários com potencial de geração de CERs baseou-se: a) nas premissas básicas já definidas nas COPs para aprovação de projetos MDL, ou seja, o carbono armazenado na biomassa florestal e a emissão evitada ao se produzir um produto renovável (borracha natural) em substituição a um não-renovável (borracha sintética); e b) na possibilidade de geração de créditos ao considerar o produto florestal (borracha) como armazenador de carbono. Ressalta-se que, até então, o carbono armazenado no produto florestal não é válido para a creditação e geração de CERs, mas poderá vir a ser considerado em função das características especiais da heveicultura e, por isso, considerado.

Neste estudo, foram propostos cinco cenários. No *Cenário 1*, denominado *sem a geração de CERs*, considerou-se a heveicultura sem as receitas extras provenientes dos CERs. Para os outros cenários, com potencial de geração de CERs, foram consideradas as seguintes situações:

Seqüestro de Carbono

- *Cenário 2 – carbono estocado na biomassa florestal:* representa o tipo de projeto aceito na modalidade de LULUCF (Land Use, Change Land Use, Forestry), prevista no MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo), permitindo estudar a viabilidade econômica da heveicultura com as receitas extras dos CERs para o carbono fixado na biomassa florestal.
- *Cenário 3 – carbono estocado na biomassa florestal mais o da borracha natural:* apesar de não estar bem definido sobre a geração de CERs pelo carbono armazenado no produto, que, neste caso, é a borracha natural, a idealização deste cenário teve como objetivo mostrar que, caso se concretize a inclusão do produto florestal nos termos do MDL, a heveicultura pode vir a se beneficiar, uma vez que tem carbono em sua estrutura.
- *Cenário 4 – carbono referente à emissão evitada ao se utilizar a borracha natural em substituição à sintética:* este cenário baseia-se na chamada “emissão evitada”, levando-se em consideração que, ao se produzir a borracha natural, deixa-se de utilizar a borracha sintética. Por utilizar na sua fabricação matéria-prima oriunda de combustível fóssil, a borracha sintética tem um balanço negativo em termos de carbono, o que torna este cenário positivo e de referência.
- *Cenário 5 – carbono estocado na biomassa florestal, mais o carbono fixado na borracha natural e, ainda, o carbono referente à emissão evitada ao se utilizar a borracha natural em substituição à sintética:* representa o potencial máximo teórico de geração de CERs pela heveicultura.

• **Contabilização do carbono**

Dada a falta de informações, no Brasil, sobre a quantidade de carbono armazenada em um seringal, até o fim de sua vida útil econômica estimada (33 anos), além da quantidade de emissão de carbono evitada ao se produzir uma tonelada de borracha natural, optou-se por utilizar dados do estudo de Hamel e Eschbach (2001). A escolha deste entre os diversos trabalhos encontrados na literatura deveu-se ao fato de este contemplar os cenários propostos neste estudo. Vale ressaltar que o estoque de 68 tC/ha (toneladas de carbono/ha) na biomassa da seringueira utilizada neste trabalho é um número modesto para as condições brasileiras, já que a revisão de literatura mostra que esse número pode ser superior para idades inferiores a 33 anos.

Para o cálculo do carbono armazenado na borracha, foi considerado um seringal com clones selecionados e adaptados às condições da empresa OMB, no Vale do Guaporé, em Mato Grosso, que produziu, em 33 anos, um total de 36,9 toneladas de borracha seca (FERNANDES, 2003). Assim, para o cálculo da quantidade de carbono, multiplicou-se a produção de borracha seca pela constante 0,88, conforme estabelecido nos estudos de Hamel e Eschbach (2001) e Rahaman e Sivakumaran (1998). Esses autores consideram a borracha natural equivalente ao polisopreno – uma molécula formada por cinco átomos de carbono e oito átomos de hidrogênio. Dessa forma, chegaram à conclusão de que cada tonelada de borracha natural armazena 0,88 t de carbono, um cálculo igual ao realizado para se saber a quantidade de CO₂ resgatada ou evitada por tonelada de carbono.

Não se preocupou, nesse caso, com o destino final desta borracha, nem com o tempo de permanência do carbono no produto, em razão das indefinições sobre este assunto nas negociações das Conferências das Partes ocorridas até este momento.

Seqüestro de Carbono

Para calcular a quantidade de carbono não emitida ao se utilizar a borracha natural em substituição à sintética, baseou-se nos estudos de Hamel e Eschbach (2001), que relatam que, a cada tonelada de borracha natural produzida, deixa-se de emitir 4,8 toneladas de carbono para a atmosfera. Desconsiderou-se o carbono emitido ao se transportar a borracha natural beneficiada aos centros consumidores, pois isso também ocorreria com a borracha sintética.

O mercado de créditos de carbono exige que se estabeleça uma linha de base, ou, em outras palavras, um cenário de referência, para que realmente se possa inferir a adicionalidade (benefício) do projeto de LULUCF, em relação à mitigação das mudanças climáticas globais. Neste estudo, foram consideradas duas linhas básicas. A primeira foi uma área degradada, em que podia ser implantado um seringal, admitindo como zero o acúmulo de carbono. Assim, todo carbono armazenado ou evitado pelo projeto seria adicional. A segunda foi a utilização da borracha sintética em vez da borracha natural.

• Conversão de carbono em CO₂ equivalente (CO₂eq.)

De acordo com FACE (1994), considerou-se, neste estudo, que 1 t de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO₂equivalente (CO₂eq.), o que significa dizer que 1 t de CO₂ equivale a 0,27 t de carbono. No mercado de negociações sobre mudança climática global, os CERs são contabilizados em função do CO₂eq., ou seja, ao se falar em CERs, entende-se igualmente CO₂eq.

• **Custos e receitas**

Foram utilizados, neste estudo, os dados básicos de custos e receitas da heveicultura, adaptados da Companhia Comercial OMB para o Estado do Mato Grosso.

O valor de venda da madeira, sem beneficiamento, foi de R\$ 90,00/m³, e o dos resíduos de exploração (lenha), em torno de R\$ 2,00/m³. Utilizou-se valor tão baixo para a madeira e a lenha pelo fato de não haver na Companhia Comercial OMB, nem no Brasil, uma real comercialização de tal produto. No entanto, acredita-se que, com a falta de produtos florestais, em futuro não muito longínquo, esse valor possa aumentar e trazer melhores retornos econômicos por hectare cultivado. O preço da tonelada de borracha natural seca considerado foi de R\$ 2.500,00.

Com relação ao custo da terra, utilizou-se, como referência, valor fornecido pelo AGRIANUAL (2003), para a região de Pontes e Lacerda, no Mato Grosso. Desse valor, foi descontado 50% por se tratar de uma área de pastagem degradada.

Os custos de comercialização dos CERs foram desconsiderados, por serem muito dependentes da escala do projeto. Em razão de o mercado não ser muito desenvolvido, não há valores de referência confiáveis. Além disso, entende-se que, hoje, esses valores estão altos, mas, assim que as regras dos projetos de MDL estiverem mais bem definidas e o mercado começar a funcionar perfeitamente, os preços devem cair, atingindo um ponto de equilíbrio. Esses preços se referem aos custos de preparo do projeto, coleta e processamento dos dados, identificação do parceiro ideal, estabelecimento dos termos da troca, certificação dos CERs, e efetivação do negócio, entre outros.

Seqüestro de Carbono

As receitas da venda dos CERs foram obtidas multiplicando-se a tonelada de CO₂ equivalente (tCO₂eq.) por R\$ 2,80, que é um valor próximo ao atualmente praticado no mercado paralelo a Quioto, o Chicago Climate Exchange, de US\$ 0,98 (CCX, 2003).

Para a análise da viabilidade econômica, consideraram-se todos os CERs negociados no ano zero, ou seja, no ano de implantação da cultura foram captadas as receitas extras.

• Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade foi realizada para itens de custos e receitas, que mais contribuíram percentualmente na análise de viabilidade econômica, utilizando-se a taxa de 10% (ótica pública), variando-os em -20% e + 20%, com os critérios VPL e VAE.

Esta análise foi aplicada ao cenário que inclui receitas oriundas dos CERs da biomassa florestal (cenário 2).

RESULTADOS

Geração de CERs pela heveicultura

A quantidade de carbono e o respectivo CO₂eq. armazenado na biomassa, na borracha e deixado de ser emitido, bem como a contribuição percentual de cada um, pode ser visualizados no Quadro 2.

Seqüestro de Carbono

Quadro 2 – A quantidade de carbono e CO₂ eq. é igual à de CERs gerados pela heveicultura, em cada cenário estudado

Cenários	Biomassa		Borracha		Emissão evitada		Total	
	Carbono (t/ha)	CO ₂ eq. (t/ha)						
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	68,0	249,6	-	-	-	-	68,0	249,6
3	68,0	249,6	32,5	119,3	-	-	100,5	368,8
4	-	-	-	-	177,2	650,3	177,2	650,3
5	68,0	249,6	32,5	119,3	177,2	650,3	277,7	1019,1
%	24,5		11,7		63,8		100,0	

Verifica-se que o cenário 5 é o que mais gera CERs, chegando a um total de CO₂ equivalente de 1.019,1 t/ha, representando o potencial máximo de CERs gerados pela heveicultura, considerando todo o ciclo da produção e utilização da borracha natural, tanto como armazenadora de carbono quanto em substituição à sintética.

Vale ressaltar que a emissão evitada de carbono, ao se produzir a borracha natural em substituição à sintética (cenário 4), representa cerca de 63,8% do potencial máximo de geração de CERs; a biomassa como armazenadora de carbono (cenário 2), 24,5%; e a borracha, 11,7%. Assim, pode-se confirmar que a substituição da fonte de matéria-prima para produção da borracha é o principal componente para geração de CERs. Entretanto, isso não tira o mérito da floresta como armazenadora de carbono, pois só poderá haver os CERs da substituição da borracha sintética pela natural se houver o seringal para extração do látex, bem como para produção da borracha natural.

Um fator a ser considerado é que o conceito de substituição da borracha sintética pela borracha natural pode ser questionável, devido às incertezas ainda proporcionadas pelo Protocolo de Quioto. No entanto, com base na

Seqüestro de Carbono

semelhança deste projeto com outros já negociados, entende-se que o Comitê Executivo, órgão que aprova os projetos do MDL, poderá considerá-lo elegível.

Uma argumentação favorável para a aceitação desse tipo de projeto é que as análises do mercado apontam para queda na produção mundial de borracha natural e também acréscimo no consumo. Esse cenário permite imaginar que, na ausência de incentivos à heveicultura, ocorrerá o desaparecimento progressivo da borracha natural em benefício da sintética. Nesse contexto, vale ressaltar dois pontos importantes: a) a emissão de carbono devido à ocupação do solo por outras culturas em substituição à heveicultura, o que leva a aumento na emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), decorrente da derrubada e queima dos resíduos florestais; b) a substituição de produtos da borracha natural por produtos fabricados pelo elastômero sintético, o que pode ser classificado, no rol das negociações sobre mudanças climáticas globais, como projeto de substituição. Em termos ambientais, verifica-se que a produção de borracha natural é menos prejudicial ao meio ambiente do que a de borracha sintética, pois a matéria-prima é oriunda de um recurso renovável que pode ser produzido em sistemas agroflorestais sustentáveis e, ainda, armazenar carbono na superfície terrestre, que antes estava presente na atmosfera.

A negociação dos CERs por causa da borracha natural como armazenadora de carbono, conforme no cenário 3, também pode ser discutível, pois ainda não se tem definido, para o primeiro período de compromisso (2008 – 2012), se os produtos florestais, neste caso a borracha natural, serão passíveis de negociação. No entanto, nada impede que essa possibilidade seja estudada, já que o carbono armazenado pela borracha natural é adicional ao cenário de referência.

O cenário 2, que considera apenas a biomassa florestal como armazenadora de carbono, é o mais utilizado para outras culturas florestais na comercialização dos CERs. Mesmo apresentando acúmulo de carbono por

Seqüestro de Carbono

hectare (68 tC/ha) menor que o do eucalipto, por exemplo 86,6 tC/ha, segundo Nishi (2003), deve-se considerar também o tempo de armazenamento do carbono. Um seringal pode produzir látex economicamente por mais de 30 anos, o que não ocorre com o eucalipto, cujo tempo da rotação é curto.

Análise econômica

• Fluxo de caixa

Neste estudo, a heveicultura sem a inclusão da receita extra dos CERs (cenário 1) apresentou um fluxo de caixa negativo até o sexto ano, quando se iniciou a extração do látex. Esses valores negativos são justificados pelo fato de a cultura não produzir até o quinto ano e pelo incremento dos custos no sexto ano, em razão dos insumos necessários para o início da sangria (canecas, bicas, arames, facas de sangria, pedras de amolar, mão-de-obra etc.) (Quadro 3).

Seqüestro de Carbono

Quadro 3 – Custos, receitas e fluxo de caixa da heveicultura sem inclusão dos CERs

Ano	Atividade	Custos (R\$/ha)	Produção (kg BS*/ha)	Receitas (R\$/ha)	Fluxo de caixa (R\$/ha)
0	Implantação	2.232,00	0	0,00	-2.232,00
1	Condução	867,83	0	0,00	-867,83
2	Condução	844,82	0	0,00	-844,82
3	Condução	873,35	0	0,00	-873,35
4	Manutenção	600,43	0	0,00	-600,43
5	Manutenção	725,69	0	0,00	-725,69
6	Produção	1.385,73	450	1.125,00	-260,73
7	Produção	1.090,68	610	1.525,00	434,32
8	Produção	928,91	1.010	2.525,00	1.596,09
9	Produção	988,91	1.210	3.025,00	2.036,09
10	Produção	972,83	1.620	4.050,00	3.077,17
11	Produção	1.041,23	1.620	4.050,00	3.008,77
12	Produção	964,96	1.450	3.625,00	2.660,04
13	Produção	1.100,33	1.570	3.925,00	2.824,67
14	Produção	969,95	1.580	3.950,00	2.980,05
15	Produção	1.039,79	1.600	4.000,00	2.960,21
16	Produção	953,39	1.350	3.375,00	2.421,61
17	Produção	1.013,39	1.550	3.875,00	2.861,61
18	Produção	1.002,55	1.800	4.500,00	3.497,45
19	Produção	1.105,94	1.450	3.625,00	2.519,06
20	Produção	971,39	1.600	4.000,00	3.028,61
21	Produção	1.002,59	1.400	3.500,00	2.497,41
22	Produção	964,19	1.500	3.750,00	2.785,81
23	Produção	1.021,79	1.350	3.375,00	2.353,21
24	Produção	964,96	1.450	3.625,00	2.660,04
25	Produção	1.092,59	1.700	4.250,00	3.157,41
26	Produção	956,99	1.400	3.500,00	2.543,01
27	Produção	1.036,19	1.550	3.875,00	2.838,81
28	Produção	956,99	1.400	3.500,00	2.543,01
29	Produção	988,19	1.200	3.000,00	2.011,81
30	Produção	932,56	1.000	2.500,00	1.567,44
31	Produção	989,39	900	2.250,00	1.260,61
32	Produção	913,79	800	2.000,00	1.086,21
33	Produção/Corte	959,39	800	5.270,00**	4.310,61

FONTE: FERNANDES (2003).

* BS – refere-se à borracha seca.

**Valor acrescido da venda de madeira para serraria (33 m³ X R\$ 90,00) e lenha (150 m³ X R\$ 2,00).

Uma forma de minimizar esse fluxo negativo seria a implantação de culturas intercalares, os sistemas agroflorestais (SAFs), possibilitando a inclusão de receitas extras no início da atividade. Os gastos com máquinas e insumos necessários para os SAFs são compensados pelas receitas obtidas da colheita das culturas intercalares, proporcionando uma redução de custo de manutenção e adubação do seringal.

A partir do sétimo ano de idade, a heveicultura passa a trazer retornos econômicos, podendo-se inferir, então, que, após o período inicial, ela se mostra uma atividade viável para o heveicultor.

Verifica-se que tanto as receitas quanto os custos sofreram variações ao longo da vida útil do seringal. As variações nos custos são determinadas principalmente pela aquisição de materiais necessários à produção. Influenciadas pela produtividade de borracha seca, as receitas foram crescendo na fase inicial de produção até certo limite, depois oscilaram até o 27º ano; a partir daí as receitas foram diminuindo até o 33º ano. Neste ano, houve aumento da receita em função do corte das árvores e da venda de madeira e lenha. Pode-se observar que o corte e a venda de madeira da seringueira proporcionam uma receita líquida (R\$ 3.270,00/ha) que cobre inicialmente os custos de implantação do seringal no ano zero (R\$ 2.232,00/ha). No entanto, deve-se estar atento aos custos adicionais de destoca, não contemplados neste estudo, para um novo ciclo da cultura.

A cultura torna-se ainda mais interessante por ser uma atividade duradoura, ou seja, com mais de 25 anos de extração de látex. Vale ressaltar que esse período de extração varia em função da freqüência da sangria, ou seja, sangrias em intervalos menores, além de aumentar o custo operacional, diminuem a vida útil econômica do seringal.

• Análise dos principais itens de custo

Ao analisar os itens de custos, verificou-se que o de sangria representa 34% dos custos totais atualizados, seguido daqueles de aplicação de defensivos (herbicidas, inseticidas, fungicidas etc.) (21%), de implantação (20%) e de adubação (14%) (Figura 4).

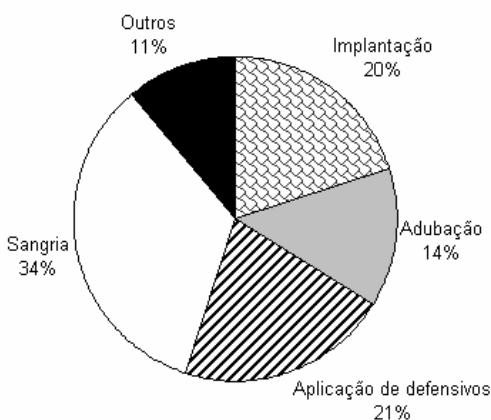


Figura 4 – Percentual dos itens de custos das operações para produção de látex.

O alto custo da sangria está relacionado, principalmente, à mão-de-obra, pois trata-se de uma operação realizada manual e diariamente, durante no mínimo 10 meses ao ano. Com isso, é necessário que a empresa/heveicultor possua um programa de treinamento e um controle de qualidade que permita aumentar a produtividade da operação sem comprometer a qualidade dos cortes na árvore, que passa a ser o seu patrimônio.

A heveicultura, por ser intensiva em mão-de-obra, tem um apelo social muito grande, em virtude dos altos níveis de desemprego que o País apresenta

na atualidade. Considera-se que, a cada 4 ha de seringueira, uma pessoa é empregada (YOKOYAMA, 1999).

Outra característica marcante da heveicultura, relacionada à mão-de-obra, são os encargos sociais incidentes sobre a folha de pagamento, principalmente no caso de grandes empresas, como a CIA COMERCIAL OMB, em que, além dos encargos legais, há gastos com saúde, moradia, educação, alimentação, transporte, creches etc. RC CONSULTORES (1992), em estudo de diagnóstico no setor de borracha natural em 1992, afirma que alguns seringais chegam a ter 200% de gastos adicionais (incluindo os encargos) na folha de pagamento.

Vale salientar que os custos representados pela aplicação de defensivos podem ser minimizados da seguinte forma: a) com relação a herbicidas, se houver culturas intercalares, os custos podem ser distribuídos para as diferentes culturas, assim o custo da seringueira seria menor; e b) quanto à pulverização com fungicidas, se a cultura for implantada em áreas-escapes, os custos serão reduzidos. A minimização desses custos aumentaria a viabilidade da cultura e, ainda, elevaria a importância percentual da sangria.

Pode-se inferir, pelos resultados obtidos, que os altos custos de implantação e os custos de manutenção da cultura, nos primeiros anos, tornam-se um obstáculo ao aumento de áreas plantadas no País, já que a maioria dos produtores está descapitalizado e não há financiamentos disponíveis, os juros são exorbitantes e os prazos de pagamento são incompatíveis com a produção da cultura.

• **Inclusão dos CERs nos diferentes cenários**

A inclusão das receitas com a geração dos CERs no ano zero, nos cenários estudados (Quadro 4), faz com que haja aumento na viabilidade econômica da cultura (Quadro 5).

Verifica-se, pelos indicadores utilizados, que a heveicultura mostrou-se economicamente viável em todos os cenários estudados com juros de 10% a.a. (ótica pública). No cenário que considera os CERs da biomassa (cenário 2), houve acréscimo de 9,9% no VPL; no cenário que considera os CERs da biomassa e da borracha (cenário 3), de 14,6% no VPL; no cenário que considera a emissão evitada ao se substituir a borracha natural pela sintética (cenário 4), de 25,8% no VPL; e no cenário 5, que representa o potencial máximo da geração de CERs, de 40,4% no VPL.

Seqüestro de Carbono

Quadro 4 – Custos e receitas com inclusão das vendas dos CERs gerados pela heveicultura, nos diferentes cenários estudados

Ano	Custos (R\$/há)	RECEITAS (R\$/ha)				
		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
0	2.232,00	0,00	698,77	1.032,63	1.821,07	2.853,70
1	867,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	844,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	873,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	600,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	725,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	1.385,73	1.125,00	1.125,00	1.125,00	1.125,00	1.125,00
7	1.090,68	1.525,00	1.525,00	1.525,00	1.525,00	1.525,00
8	928,91	2.525,00	2.525,00	2.525,00	2.525,00	2.525,00
9	988,91	3.025,00	3.025,00	3.025,00	3.025,00	3.025,00
10	972,83	4.050,00	4.050,00	4.050,00	4.050,00	4.050,00
11	1.041,23	4.050,00	4.050,00	4.050,00	4.050,00	4.050,00
12	964,96	3.625,00	3.625,00	3.625,00	3.625,00	3.625,00
13	1.100,33	3.925,00	3.925,00	3.925,00	3.925,00	3.925,00
14	969,95	3.950,00	3.950,00	3.950,00	3.950,00	3.950,00
15	1.039,79	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00
16	953,39	3.375,00	3.375,00	3.375,00	3.375,00	3.375,00
17	1.013,39	3.875,00	3.875,00	3.875,00	3.875,00	3.875,00
18	1.002,55	4.500,00	4.500,00	4.500,00	4.500,00	4.500,00
19	1.105,94	3.625,00	3.625,00	3.625,00	3.625,00	3.625,00
20	971,39	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00
21	1.002,59	3.500,00	3.500,00	3.500,00	3.500,00	3.500,00
22	964,19	3.750,00	3.750,00	3.750,00	3.750,00	3.750,00
23	1.021,79	3.375,00	3.375,00	3.375,00	3.375,00	3.375,00
24	964,96	3.625,00	3.625,00	3.625,00	3.625,00	3.625,00
25	1.092,59	4.250,00	4.250,00	4.250,00	4.250,00	4.250,00
26	956,99	3.500,00	3.500,00	3.500,00	3.500,00	3.500,00
27	1.036,19	3.875,00	3.875,00	3.875,00	3.875,00	3.875,00
28	956,99	3.500,00	3.500,00	3.500,00	3.500,00	3.500,00
29	988,19	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00
30	932,56	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00
31	989,39	2.250,00	2.250,00	2.250,00	2.250,00	2.250,00
32	913,79	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00
33	959,39	5.270,00	5.270,00	5.270,00	5.270,00	5.270,00

FONTE: FERNANDES (2003).

*Receitas apresentadas no Quadro 3.

Seqüestro de Carbono

Quadro 5 –Indicadores econômicos para a heveicultura nos diferentes cenários*

Cenários	VPL (R\$/ha)		B/C (R\$/ha)		VET (R\$/ha)		TIR (%)	VAE (R\$/ha)	
	10%	20%	10%	20%	10%	20%	-	10%	20%
1	7.061,81	-1.370,69	1,63	0,81	7.895,35	-813,41	17,36%	737,96	-274,81
2	7.760,58	-671,92	1,69	0,90	8.625,56	-112,94	18,93%	810,98	-134,71
3	8.094,44	-338,06	1,72	0,95	8.974,44	221,74	19,83%	845,86	-67,78
4	8.882,88	450,38	1,79	1,06	9.798,36	1.012,11	22,60%	928,26	90,30
5	9.915,51	1.483,01	1,88	1,21	10.877,45	2.047,26	29,57%	1036,17	297,33

FONTE: FERNANDES (2003).

*VPL = Valor Presente Líquido, B/C = Razão Benefício – Custo, VET = Valor Esperado da Terra, TIR = Taxa Interna de Retorno e VAE = Valor Anual Equivalente.

Para a taxa de juros de 20 % a.a. (ótica privada), verificou-se que os cenários 1, 2 e 3 são inviáveis, sendo os demais viáveis economicamente.

Os valores encontrados para o VPL indicam que, sem os CERs, a atividade tem um lucro de R\$ 7.061,81/ha na ótica pública e um “prejuízo” de R\$ 1.370,69/ha na ótica privada. De acordo com o VAE, que mostra receitas líquidas anuais, o heveicultor possui uma renda anual de R\$ 737,96/ha com a taxa de 10%; com 20%, esse valor é de R\$-274,81/ha.

A TIR para a heveicultura sem os CERs (cenário 1) foi de 17,36%. A inclusão dos CERs da biomassa (cenário 2) aumentou a TIR para 18,93%; para 19,83% no cenário que considera os CERs da biomassa e da borracha (cenário 3); para 22,60% no caso dos CERs da emissão evitada (cenário 4); e para 29,57% em se tratando do potencial máximo da heveicultura, representado pelo cenário 5.

A análise do VET é de suma importância para a seringueira, pois, como a cultura tem restrições às condições climáticas, esse critério poderá indicar em quais regiões ela pode ser atrativa sob o ponto de vista econômico, notoriamente com a inclusão ou não dos créditos de carbono. Assim, pelos

Seqüestro de Carbono

dados apresentados, pode-se inferir que a terra pode ter um valor de até R\$ 7.895,35/ha, para uma taxa de desconto de 10%, e – considerando o potencial máximo de geração de CERs (cenário 5) – de até R\$ 10.877,45/ha que a cultura ainda será viável economicamente.

É importante salientar que, no Brasil, há riscos inerentes às condições econômicas, como variações nos preços dos produtos e dos insumos a serem utilizados, fazendo com que o plantio que exige alto investimento, de longo prazo, como o de seringueira, seja pouco atrativo e necessite de incentivos que permitam amenizá-los. O MDL seria uma forma de viabilizar o plantio desta cultura.

Análise de sensibilidade

Verificou-se, pela análise de sensibilidade, que o VAE e o VPL são mais afetados pela taxa de juros, pelo preço da borracha e pelo custo total (Quadro 6, Figuras 5 e 6).

Quadro 6 – Análise de sensibilidade do cenário 2 ao VPL e VAE, variando em -20% e + 20% nos principais custos e receitas da heveicultura

Variáveis	VPL			VAE		
	-20%	0%	20%	-20%	0%	20%
Custo total	9.993,63	7.760,58	5.489,99	1.044,33	810,98	573,70
Custo de Implantação	8.188,21	7.760,58	7.295,41	855,66	810,98	762,37
Custo de Sangria	8.496,49	7.760,58	6.987,13	887,88	810,98	730,15
Tx. juros	11.813,20	7.760,58	4.902,96	1.026,00	810,98	602,67
Preço da Borracha	4.105,79	7.760,58	11.377,83	429,05	810,98	1.188,98
Preço dos CERs	7.605,81	7.760,58	7.877,81	794,80	810,98	823,23

FONTE: FERNANDES (2003).

Seqüestro de Carbono

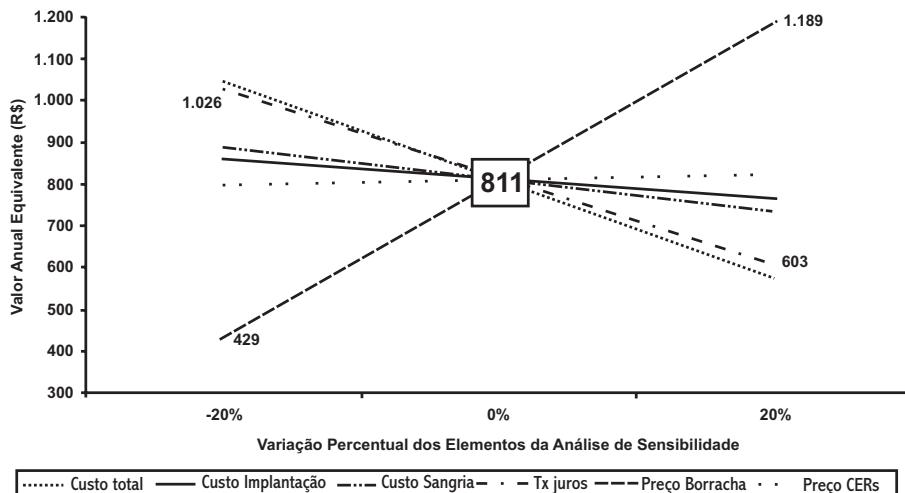


Figura 5 – Análise de sensibilidade do Valor Anual Equivalente (VAE).

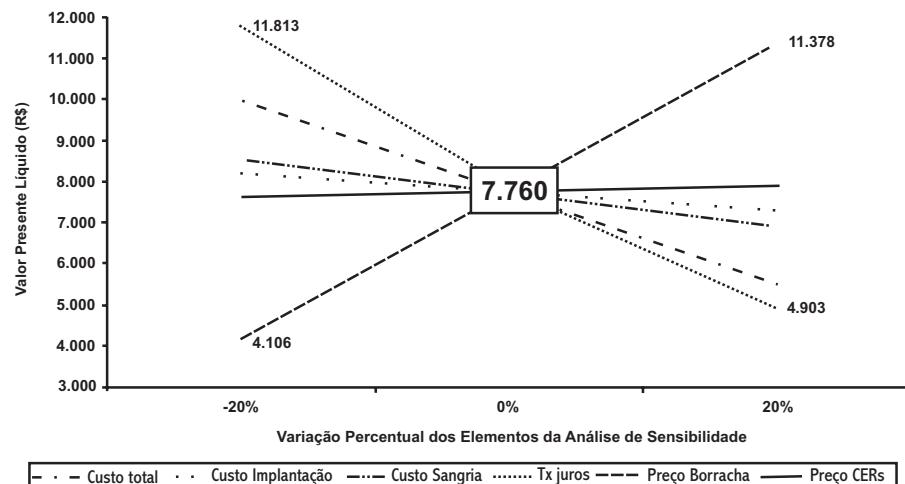


Figura 6 – Análise de sensibilidade do Valor Presente Líquido (VPL).

Seqüestro de Carbono

Ressalta-se que, uma vez em vigor o Protocolo de Quioto, espera-se que os CERs tenham um acréscimo nos seus preços de mais de 20%, podendo chegar a mais de US\$ 10,00/t, o que representaria, para este estudo, uma variação de mais de 1.000%. Esse aumento no valor dos CERs afetaria consideravelmente a viabilidade econômica da cultura da seringueira, certamente tornando-a uma atividade altamente atrativa, do ponto de vista econômico, na negociação do mercado de CERs.

Quanto à taxa de juros, variações estão continuamente ocorrendo, dada a instabilidade econômica do País nos últimos anos, o que desfavorece investimentos em atividades de demorado retorno do capital.

Em relação ao preço da borracha, este é influenciado, principalmente, pelos produtores asiáticos ou por políticas governamentais. À medida que os grandes produtores mundiais de borracha natural diminuem sua produção, assim como está acontecendo nos últimos anos, em virtude de mudança de atividade, o preço tende a subir no mercado. Internamente, os preços podem variar em função de políticas governamentais de intervenção no mercado, como o subsídio concedido aos produtores de borracha natural recentemente. Também, vale ressaltar que o crescimento do PIB (Produto Interno Bruto) poderá aumentar a demanda de borracha, principalmente em razão do maior consumo de pneus, e que o custo total de produção poderá sofrer variações, principalmente em decorrência de alterações no salário dos trabalhadores, uma vez que a cultura exige mão-de-obra intensiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos dados apresentados neste trabalho, pode-se verificar que:

- A heveicultura apresenta grande potencial para geração de CERs, por meio do armazenamento de carbono na biomassa e na borracha natural, além da emissão evitada ao se utilizar a borracha natural em substituição à sintética.
- A sangria é o principal componente de custo da heveicultura, seguido pela aplicação de defensivos e pela implantação da cultura.
- A heveicultura mostra-se uma atividade inviável economicamente sob a ótica privada e economicamente viável sob a ótica pública.
- A inclusão das receitas oriundas da venda dos CERs aumenta a viabilidade econômica da cultura.
- A taxa de juros, o preço da borracha e os custos de implantação são os itens que mais afetam a viabilidade econômica da heveicultura.
- A inclusão dos CERs na heveicultura poderá contribuir para solucionar a falta de recursos na fase inicial da cultura, já que as primeiras receitas com a venda da borracha ocorrem, geralmente, a partir do sexto ano.
- A heveicultura, com a inclusão das receitas dos CERs, pode ser incrementada no País, contribuindo para a diminuição do déficit da balança comercial, em virtude da redução da importação da borracha natural.
- A heveicultura apresenta-se como uma ótima opção para o financiamento via Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, dado o seu potencial na geração de CERs e, também, em função de seus benefícios sociais, ambientais e econômicos, contribuindo, assim, para o desenvolvimento sustentável do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2003; Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2003. p. 453-462.

CHICAGO Climate Exchange .Disponível em: <http://www.chicagoclimateex.com/imgens/stats_0903_auction.jpg>. Acesso em 30 set. 2003.

FACE - Forest Absorbing Carbon Dioxide Emission. **Annual Report 1993**. Arnheim: Neth., 1994. 16 p.

FERNANDES, T. J. G. **Contribuição dos Certificados de Emissões Reduzidas (CERs) na viabilidade econômica da heveicultura**. Viçosa: UFV, 2003. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa.

HAMEL, O.; ESCHBACH, J. M. Impact potential du mécanisme de développement propre dans l'avenir des cultures pérennes: état des négociations internationales et analyse prospective à travers l'exemple de la filière de production du caoutchouc naturel. **OCL**, Montpellier, v. 8, n. 6, p. 599-610, 2001.

NISHI, M.H. **O MDL e o atendimento aos critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade por diferentes atividades florestais**. Viçosa: UFV, 2003. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa.

RAHAMAN, W. A.; SIVAKUMARAN, S. **Studies of carbon sequestration in rubber**. In: Workshop at the UNCTAD/IRSG, Rubber Forum. Bali, Indonésia, 1998. p. 58-65.

Seqüestro de Carbono

RC CONSULTORES. **Borracha natural - Diagnóstico do setor.** Rio de Janeiro, 1992. 194 p.

YOKOYAMA, R. Y. **Seringueira: Patrimônio nacional à espera do reconhecimento e resgate do seu valor.** Disponível em: <<http://www.omb.com.br/borracha/index.html>> Acesso em: 25 Ago. 2003.



PROJETO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DE
TECNOLOGIA AGROPECUÁRIA PARA O BRASIL

PRODETAB

Apoio

Banco Mundial

ISBN 858586423-0



9 788585 864231

