

Documentos

402

Colombo, PR / Maio, 2025

Análise da viabilidade econômica da produção de eucalipto para energia no estado de Goiás

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura e Pecuária**

ISSN 1517-526X / e-ISSN 1980-3958

Documentos 402

Maio, 2025

Análise da viabilidade econômica da produção de eucalipto para energia no estado de Goiás

*José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira
Alisson Moura Santos
Cristiane Aparecida Fioravante Reis*

Embrapa Florestas
Colombo, PR
2025

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba
Caixa Postal 319
83411-000 Colombo, PR
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Patrícia Póvoa de Mattos

Vice-presidente

José Elidney Pinto Júnior

Secretária-executiva

Elisabete Marques Oaida

Membros

Annete Bonnet

Cristiane Aparecida Fioravante Reis

Elenice Fritzsos

Guilherme Schnell e Schühli

Marilice Cordeiro Garrastazú

Sandra Bos Mikich

Susete do Rocío Chiarello Penteadó

Valderês Aparecida de Souza

Edição executiva e revisão de texto

José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica

Francisca Rasche

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Celso Alexandre de Oliveira Eduardo

Foto da capa

André Kasczeszen

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Moreira, José Mauro Magalhães Ávila Paz

Análise de viabilidade econômica da produção de eucalipto para energia no estado de Goiás. [recurso eletrônico] / José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira, Alisson Moura Santos, Cristiane Aparecida Fioravante Reis. - Colombo : Embrapa Florestas, 2025.

PDF (56 p.) : il. color. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1517-526X : e-ISSN 1980-3958 ; 402)

1. *Eucalyptus*. 2. Produtividade florestal. 3. Sistema de produção. 4. Floresta plantada. 5. Madeira. 6. Viabilidade econômica. I. Título. II. Série.

CDD (21. ed) 634.973766

Francisca Rasche (CRB-9/1204)

© 2025 Embrapa

Autores

José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira

Engenheiro Florestal, doutor em Economia Aplicada, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Alisson Moura Santos

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Cristiane Aparecida Fioravante Reis

Engenheira florestal, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Os autores agradecem à Empresa Ciplan Cimento Planalto S.A., pela cooperação técnica-financeira que possibilitou a execução deste trabalho, bem como a todas as associações, consultores, empresários e produtores que participaram do painel de custo de produção do estado de Goiás e das entrevistas, sem as quais este trabalho não seria possível.

Apresentação

A busca da eficácia e da eficiência é uma constante nos diversos setores da sociedade, tanto para uma maior sustentabilidade como uma melhor alocação e uso dos recursos disponíveis. A análise da viabilidade econômica é um dos pilares que orientam e auxiliam nessa busca à melhoria da competitividade das cadeias produtivas. Com os impactos da mudança do clima e a necessidade de redução das emissões de carbono de origem fóssil, diversos segmentos industriais têm buscado fontes alternativas de energia, que sejam renováveis, sustentáveis e que contribuam para a redução das suas emissões de carbono de origem fóssil. Como opção para atender a essa demanda, a biomassa produzida a partir de cultivos florestais tem se mostrado uma opção competitiva e promissora. O objetivo desta publicação é avaliar a viabilidade econômica de um sistema de produção modal de cultivo de eucalipto para produção de biomassa para energia, no estado de Goiás. A sensibilidade da viabilidade frente às variações no preço da madeira, custo de colheita, produtividade e teor de umidade foram analisadas, bem como o impacto da indústria consumidora na adoção de uma estratégia de comprar a madeira da árvore em pé e esta se responsabilizar pela colheita, picagem e transporte do cavaco. Este trabalho apresenta aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), em especial aos ODS 7, 8, 11, 12 e 15, por contribuir para o aumento do uso das energias renováveis na indústria, no uso sustentável dos recursos naturais, promover o desenvolvimento regional pelo plantio de florestas de produção energética em áreas com pastos degradados no estado de Goiás, aumentando a oferta de energia renovável na região. Espera-se que esta publicação possa contribuir para o desenvolvimento florestal do estado de Goiás, auxiliando

produtores, consumidores e formuladores de políticas públicas e setoriais na definição e implementação de estratégias que possam aumentar a competitividade dessa cadeia produtiva.

Marcelo Francia Arco Verde

Chefe-Geral interino da Embrapa Florestas

Sumário

Introdução	10
Sistema de produção modal (SPM)	12
Sistema de produção modal elaborado	12
Custos silviculturais do sistema de produção	14
Produtividade de madeira	25
Preços do mercado de lenha e cavaco	28
Custos de colheita e de transporte	28
Estratégia alternativa de aquisição da madeira	29
Outros custos incidentes no sistema de produção	29
Indicadores de viabilidade econômica utilizados	30
Análise da viabilidade econômica	32
Sensibilidade da viabilidade econômica às variações de preço da madeira, custo de transporte, produtividade e teor de umidade	38
Compra da madeira da árvore em pé com colheita e transporte pago pelo consumidor	44
Conclusões e recomendações	52
Referências	54

Introdução

O estado de Goiás se destaca no cenário regional pela sua produção de lenha de eucalipto, totalizando 3.165.632 m³ em 2023. Esse volume corresponde a 33,80% do total da madeira de eucalipto para uso energético na região Centro-Oeste e 6,51% da produção nacional (IBGE, 2023). A produção de eucalipto foi registrada em 96 municípios goianos, dos quais 22 apresentaram produção superior à média municipal do estado, de 32.975,33 m³ (IBGE, 2023).

Entre os principais municípios produtores goianos destacam-se: Rio Verde (387.000 m³), Catalão (300.000 m³), Ipameri (290.000 m³), Campo Alegre de Goiás (280.000 m³), Paraúna (157.000 m³), Niquelândia (147.000 m³), Abadiânia (140.000 m³), Cristalina (130.000 m³), Luziânia (110.000 m³) e Silvânia (69.000 m³) (IBGE, 2023).

O estado apresenta um agronegócio pujante que utiliza a biomassa florestal como fonte de energia nas cadeias produtivas de secagem de grãos, aquecimento e processamento de suínos e aves, além do uso na indústria de processamento de alimentos e mineração no Estado (Reis et al. 2025).

Em adição à demanda do estado de Goiás, a madeira de eucalipto tem sido consumida também no Distrito Federal, sendo utilizada como importante fonte energética para geração de energia térmica utilizada na secagem de grãos (milho, soja, trigo, dentre outros); nos fornos de indústrias ceramistas e cimenteiras; além da geração de vapor d'água em caldeiras esmagadoras de soja, nos frigoríficos, nos laticínios e nas indústrias de alimentos, de bebidas, além de outras indústrias de transformação. Além disso, o Distrito Federal possui um polo produtor de cimento que pode se configurar como um importante consumidor de biomassa florestal, caso seja incluída no conjunto de fontes de energia renovável da estratégia de redução das emissões de gases de efeito estufa do processo produtivo da indústria cimentícia.

Entretanto, tradicionalmente o Distrito Federal não ocupa lugar de destaque na produção de eucalipto no cenário regional e nacional. Em 2022, a área de cultivo de eucalipto somava apenas 1.455 ha

(IBGE, 2023; Indústria Brasileira de Árvores, 2023), reduzindo-se a 688 ha em 2023, o equivalente a 0,009% da área total nacional com eucalipto. A produção de lenha de eucalipto no mesmo ano foi apenas 231 m³, representando 0,0004% da produção nacional (IBGE, 2023), ou seja, caso haja aumento na demanda de madeira de eucalipto no Distrito Federal, quem terá condições de ofertar esta matéria-prima a uma distância viável, no curto e médio prazos, são os produtores florestais do estado de Goiás, principalmente dos municípios pertencentes à região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride).

Municípios pertencentes à Ride, como Niquelândia, Cristalina e Luziânia, também se destacam como importantes polos de produção de madeira de eucalipto. Outros municípios da Ride como São João da Aliança (43.500 m³) e Planaltina (34.300 m³), igualmente apresentaram produções de lenha acima da média municipal goiana (IBGE, 2023). Esses municípios são destaque na produção de madeira de eucalipto há vários anos. Com o avanço da demanda de madeira na Ride, esses municípios se tornam polos importantes para o fornecimento de madeira para os diferentes processos industriais.

Nesse contexto, este trabalho realiza a avaliação econômica do sistema de produção mais comum (modal) em monocultivo de eucalipto para energia em Goiás, que pode tanto ofertar madeira para a região do Distrito Federal e entorno, como servir de *benchmark* para seus sistemas de produção. A avaliação econômica considerará um sistema de média escala (suficientemente grande para ser passível de mecanização na colheita), detalhando o sistema de produção, seus coeficientes técnicos, custos, receitas e indicadores de viabilidade econômica, bem como a apropriação da receita bruta pelos fatores de produção.

Sistema de produção modal (SPM)

Sistema de produção modal elaborado

O sistema de produção modal (SPM) elaborado para o estado de Goiás consiste em um ciclo de produção de eucalipto com duas rotações, sendo a primeira colhida aos seis anos de idade. Nesta ocasião é realizada a condução da rebrota dos tocos para a segunda rotação que também é colhida após seis anos, perfazendo um ciclo de produção de 12 anos.

O SPM foi delineado considerando solos comuns na região do Cerrado, com relevo variando de ondulado à suave ondulado na região do Goiás. Foi estabelecido um sistema de manejo de alto nível tecnológico para obtenção de uma produtividade elevada. O material genético utilizado é aquele comumente utilizado em Goiás, clone AEC 144 (*Eucalyptus urophylla*), podendo ser utilizado também outros clones híbridos constituídos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* e, ou *E. urophylla* x *E. camaldulensis*. O espaçamento entre linhas é 3,3 m e 2,7 m entre plantas, totalizando 8,91 m² por árvore, na densidade de 1.122 árvores/ha. Considerou-se um talhão modal com área de 50 ha para a estimativa do rendimento e custos dos procedimentos técnicos previstos para o cultivo do eucalipto nessa região.

A produção modal delineada foi 400 m³/ha na primeira rotação e, devido à queda de produtividade esperada, 340 m³/ha na segunda rotação (15% inferior à primeira). As idades de cortes de ambas rotações foram seis anos, com a produtividade esperada de 66,67 m³/ha ano e 56,67 m³/ha ano na primeira e segunda rotação, respectivamente. A produtividade média de madeira do ciclo foi 61,67 m³/ha ano ao longo dos doze anos do ciclo de produção. De acordo com a conversão do volume comercial de madeira (descarte da ponteira das árvores) de metros cúbicos (m³) para metros estéreos (st), necessária para a comercialização (1,3 st = 1,0 m³), têm-se as seguintes produções

e produtividades para a primeira e segunda rotação: 499,6 st/ha (83,33 st/ha ano), 422,5 st/ha (71,42 st/ha ano), totalizando uma média de 76,84 st/ha ano. Para a comercialização da madeira base úmida com 60% de umidade e densidade básica de 540 kg/m³, as produtividades foram 89,96 t/ha ano na primeira rotação e 76,5 t/ha ano na segunda, resultando uma produtividade média de 83,23 t/ha ano. Na umidade de comercialização de cavaco (30%), a produtividade na primeira rotação foi 51,4 t/ha ano e 43,71 t/ha ano na segunda rotação, com uma produtividade média de 47,558 t/ha ano no ciclo completo. A produtividade energética líquida média do ciclo de produção, calculada conforme Brito (1993), para madeira com poder calorífico superior (PCS) de 4.600 kcal/kg e 30% de teor de umidade base úmida, foi 133,79 Gcal/ha ano.

Para obtenção de tais índices de produtividade, são necessárias as seguintes operações para a primeira rotação do SMP: 1) análise de solo, 2) combate às formigas na fase de pré-plantio, 3) dessecção em área total com herbicida pós-emergente, 4) aplicação de calcário em área total, 5) incorporação do calcário em área total, 6) subsolagem com adubação de base, 7) tratamento das mudas com cupinicida e com monoamônio fosfato (MAP) e plantio das mudas, 8) irrigação de salvamento das mudas, 9) replantio no período de 20 a 30 dias após o plantio, 10) controle de matocompetição com aplicação de herbicida pré-emergente, 11) monitoramento e combate às formigas na fase de pós-plantio, 12) adubação de cobertura (40 dias após o plantio), 13) controle de matocompetição com uso de herbicida pré-emergente, todos realizados ao longo do primeiro ano (entram no Ano 0 no fluxo de caixa). Ao longo do segundo ano (entra no Ano 1 do fluxo de caixa), são realizadas as operações de controle de matocompetição com herbicida pós-emergente, monitoramento e combate às formigas na fase de pós-plantio, adubação de cobertura (365 dias após o plantio) e manutenção de aceiros com prática de prevenção à ocorrência de incêndios. Nos anos seguintes, até a colheita, são realizadas as seguintes operações: monitoramento e combate às formigas e a manutenção de aceiros.

Ao longo da segunda rotação são realizadas as seguintes operações: 1) análise de solo, 2) monitoramento e combate às formigas na fase de pós-colheita, 3) adubação de cobertura aos 40 dias após a colheita, 4) primeira condução da rebrota do eucalipto aos 120 dias após a colheita da madeira, 5) aplicação de calcário, 6) controle de matocompetição com herbicida pós-emergente, 7) monitoramento e combate às formigas, 8) adubação de cobertura aos 120 dias após a colheita, 9) segunda condução de rebrota do eucalipto aos 280 dias após a colheita, todas estas operações entram no ano de colheita da primeira rotação (Ano 0 da segunda rotação) no fluxo de caixa. A partir do início do segundo ano da segunda rotação, são realizadas as seguintes operações: monitoramento e combate às formigas na fase de pós-plantio e a manutenção de aceiros anualmente (ano posterior à colheita da primeira rotação até o ano de colheita da segunda rotação).

Em ambas as rotações, é realizado um inventário pré-corte no ano de colheita, de modo a ter uma estimativa da produção e dos possíveis sortimentos do plantio de eucalipto, visando melhor subsidiar o produtor para as negociações de comercialização da produção florestal de sua propriedade.

Custos silviculturais do sistema de produção

Os custos silviculturais delineados no SPM são apresentados com detalhes nas Tabela 1 a 7. Vale ressaltar que estes custos foram obtidos a partir de um consenso do conjunto de consultores, produtores (médios) e pesquisadores que estavam presentes no painel de especialistas (um consultor, um produtor e dois pesquisadores) para o cultivo de eucalipto no estado de Goiás, na safra 2023/2024. No SPM elaborado, optou-se pela terceirização dos serviços de implantação florestal e pela contratação de assistência técnica especializada. Assim, a responsabilidade pela aquisição dos insumos e a execução dos serviços terceirizados é assumida pelo prestador de serviço. Neste modelo, o produtor rural fornece a área e o prestador do serviço entrega o plantio de eucalipto.

As condições delineadas para colheita e comercialização da madeira no SPM foram as seguintes: a) comercialização - st madeira da árvore em pé situada na propriedade e tonelada de cavaco com 30% de umidade base úmida entregue ao cliente, b) colheita - mecanizada com sistema de árvores inteiras (corte com *feller buncher* e arraste com *skidder*), c) picagem - realizada no campo com picador florestal e grua para alimentação, d) transporte - realizado com caminhão de piso móvel e retorno vazio (sem frete de retorno).

Tabela 1. Custos silviculturais do SPM de eucalipto de Goiás no ano zero da primeira rotação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Análise de solo	Coleta e análise	un	0,02	100,00	2,00
Combate às formigas na fase de pré-plantio	Preço do serviço	un	1,00	250,00	250,00
	Formicida granulado à base de sulfuramida	kg	7,00	20,00	140,00
	Mão de obra*	diária	2,00		
Aplicação de herbicida - dessecação da área de plantio	Preço do serviço	un	1,00	250,00	250,00
	Água*	L	195,00		
	Flumizyn	kg	0,20	600,00	120,00
	Glifosato	L	5,00	30,00	150,00
	Óleo diesel*	L	3,00		
	Pulverizador de barra de 12 m*	hora	0,50		
	Trator 80 cv*	hora	0,50		

Continua...

Continuação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Aplicação de calcário	Preço do serviço	un	1,00	300,00	300,00
	Calcário	t	2,00	300,00	600,00
	Distribuidor de calcário*	hora	0,50		
	Óleo diesel*	L	3,60		
	Trator 100 cv com concha*	hora	0,20		
	Trator 80 cv*	hora	0,50		
Incorporação do calcário	Preço do serviço	un	1,00	400,00	400,00
	Grade de 28/16*	hora	1,00		
	Óleo diesel*	L	16,00		
	Trator de 140 cv*	hora	1,00		
Subsolagem com adubação de base	Preço do serviço	un	1,00	900,00	900,00
	NPK 06-30-06 + zinco + cobre + 2% boro	kg	400,00	3,50	1.400,00
	Óleo diesel*	L	36,60		
	Subsolador com caixa de adubo*	hora	2,00		
	Trator 100 cv com concha*	hora	0,20		
	Trator 180 cv*	hora	2,00		

Continua...

Continuação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Plantio	Preço do serviço	un	1,00	800,00	800,00
	Adubo MAP*	kg	1,00		
	Água*	L	60,00		
	Cupinícida*	kg	0,10		
	Mão de obra*	diária	1,00		
	Mudas	un	1.200,00	1,50	1.800,00
	Óleo diesel*	L	1,20		
	Trator 80 cv com carreta*	hora	0,20		
Irrigação	Preço do serviço	un	1,00	400,00	400,00
	Água*	L	5.000,00		
	Mão de obra*	diária	0,33		
	Óleo diesel*	L	8,00		
	Trator de 100 cv com tanque de 4.000 L*	hora	1,00		
Replanteio (20 a 30 dias após o plantio)	Preço do serviço	un	1,00	200,00	200,00
	Mão de obra*	diária	0,30		
	Mudas	un	100,00	1,50	150,00

Continua...

Continuação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Controle de matocompetição com herbicida pré-emergente	Preço do serviço	un	1,00	250,00	250,00
	Água*	L	200,00		
	Flumizyn	kg	0,10	600,00	60,00
	Fordor	kg	0,20	1.100,00	220,00
	Óleo diesel*	L	3,00		
	Pulverizador de barra de 12 m*	hora	0,50		
	Trator 80 cv*	hora	0,50		
Combate de formigas após o plantio	Preço do serviço	un	1,00	250,00	250,00
	Formicida granulado à base de sulfuramida	kg	3,00	20,00	60,00
	Mão de obra*	diária	1,00		
Adubação de cobertura (40 dias após o plantio)	Preço do serviço	un	1,00	300,00	300,00
	Mão de obra*	diária	1,00		
	NPK 20-00-20 2% boro	kg	200,00	3,20	640,00
	Óleo diesel*	L	1,20		
	Trator 80 cv*	hora	0,20		
Controle de matocompetição pré-emergente	Preço do serviço	un	1,00	250,00	250,00
	Água*	L	200,00		
	Flumizyn	kg	0,10	600,00	60,00
	Fordor	kg	0,20	1.100,00	220,00
	Óleo diesel*	L	3,00		
	Pulverizador de barra de 12 metros*	hora	0,50		
	Trator 80 cv*	hora	0,50		

Continua...

Continuação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Manutenção de aceiros	Preço do serviço	un	1,00	40,00	40,00
	Grade de 28/16*	hora	0,10		
	Óleo diesel*	L	1,60		
	Trator 120 cv*	hora	0,10		
Total			-		10.212,00

*Custo da máquina ou insumo já incluso no preço do serviço.

Tabela 2. Custos silviculturais do SPM de eucalipto de Goiás no ano 1 da primeira rotação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Combate às formigas na fase de pós-plantio	Preço do serviço	un	1,00	250,00	250,00
	Formicida granulado à base de sulfluramida	kg	3,00	20,00	60,00
	Mão de obra*	diária	1,00		
Controle de matocompetição com herbicida pós-emergente	Preço do serviço	un	1,00	300,00	300,00
	Água*	L	200,00		
	Flumizyn	kg	0,10	600,00	60,00
	Glifosato	L	5,00	30,00	150,00
	Óleo diesel*	L	6,00		
	Pulverizador barra protegida (conceição)*	hora	1,00		
Trator 80 cv	hora	1,00			

Continua...

Continuação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Combate às formigas na fase de pós-plantio	Preço do serviço	un	1,00	250,00	250,00
	Formicida granulado à base de sulfluramida	kg	3,00	20,00	60,00
	Mão de obra*	diária	1,00		
Adubação de cobertura (365 dias pós-plantio)	Preço do serviço	un	1,00	300,00	300,00
	Mão de obra*	diária	1,00		
	NPK 20-00-20 2% boro	kg	300,00	3,20	960,00
	Óleo diesel*	L	1,20		
	Trator 80 cv*	hora	0,20		
Manutenção de aceiros	Preço do serviço	un	1,00	40,00	40,00
	Grade de 28/16*	hora	0,10		
	Óleo diesel*	L	1,60		
	Trator 120 cv*	hora	0,10		
Total			-		2.430,00

*Custo da máquina ou insumo já incluso no preço do serviço.

Tabela 3. Custos silviculturais do SPM de eucalipto de Goiás no ano 2 da primeira rotação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Combate às formigas na fase de pós-plantio	Preço do serviço	un	1,00	250,00	250,00
	Formicida granulado à base de sulfluramida	kg	3,00	20,00	60,00
	Mão de obra*	diária	1,00		

Continua...

Continuação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Combate às formigas na fase de pós-plantio	Preço do serviço	un	1,00	250,00	250,00
	Formicida granulado à base de sulfluramida	kg	3,00	20,00	60,00
	Mão de obra*	diária	1,00		
Manutenção de aceiros	Preço do serviço	un	1,00	40,00	40,00
	Grade de 28/16*	hora	0,10		
	Óleo diesel*	L	1,60		
	Trator 120 cv*	hora	0,10		
			-		660,00

*Custo da máquina ou insumo já incluso no preço do serviço.

Tabela 4. Custos silviculturais do SPM de eucalipto de Goiás que se repetem nos anos 3 a 6 da primeira rotação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Combate às formigas na fase de pós-plantio	Preço do serviço	un	1,00	250,00	250,00
	Formicida granulado à base de sulfluramida	kg	3,00	20,00	60,00
	Mão de obra*	diária	1,00		
Manutenção de aceiros	Preço do serviço	un	1,00	40,00	40,00
	Grade de 28/16*	hora	0,10		
	Óleo diesel*	L	1,60		
	Trator 120 cv*	hora	0,10		
			-		350,00

*Custo da máquina ou insumo já incluso no preço do serviço.

Tabela 5. Custos silviculturais do SPM de eucalipto de Goiás no ano 0 da segunda rotação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Análise de solo	Coleta e análise	un	0,02	100,00	2,00
Combate às formigas na fase de pós colheita	Preço do serviço	un	1,00	250,00	250,00
	Formicida granulado à base de sulfuramida	kg	5,00	20,00	100,00
	Mão de obra*	diária	2,00		
Adubação de cobertura (40 dias pós-colheita)	Preço do serviço	un	1,00	300,00	300,00
	Mão de obra*	diária	1,00		
	NPK 05-25-15	kg	200,00	3,20	640,00
	Óleo diesel*	L	1,20		
	Trator 80 cv*	hora	0,20		
Primeira condução de rebrota (120 dias)	Preço do serviço	un	1,00	600,00	600,00
	Mão de obra*	diária	2,00		
Aplicação de calcário	Preço do serviço	un	1,00	300,00	300,00
	Calcário	t	2,00	300,00	600,00
	Distribuidor de calcário*	hora	0,50		
	Óleo diesel*	L	3,60		
	Trator 100 cv com concha*	hora	0,20		
	Trator 80 cv*	hora	0,50		

Continua...

Continuação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Controle de matocompetição pós-emergente	Preço do serviço	un	1,00	300,00	300,00
	Água*	L	200,00		
	Flumizyn	kg	0,10	600,00	60,00
	Glifosato	L	5,00	30,00	150,00
	Óleo diesel*	L	6,00		
	Pulverizador barra protegida (conceição)*	hora	1,00		
	Trator 80 cv*	hora	1,00		
Monitoramento e combate às formigas	Preço do serviço	un	1,00	250,00	250,00
	Formicida granulado à base de sulfluramida	kg	5,00	20,00	100,00
	Mão de obra*	diária	2,00		
Adubação de cobertura (120 dias pós-colheita)	Preço do serviço	un	1,00	300,00	300,00
	Mão de obra*	diária	1,00		
	NPK 20-00-20 2% boro	kg	300,00	3,20	960,00
	Óleo diesel*	L	1,20		
	Trator 80 cv*	hora	0,20		
Segunda condução de rebrota (280 dias)	Preço do serviço	un	1,00	400,00	400,00
	Mão de obra*	diária	1,00		
Total			749,72		5.312,00

*Custo da máquina ou insumo já incluso no preço do serviço.

Tabela 6. Custos silviculturais do SPM de eucalipto de Goiás que se repetem nos anos 1 e 2 da segunda rotação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Combate às formigas na fase de pós-plantio	Preço do serviço	un	1,00	250,00	250,00
	Formicida granulado à base de sulfluramida	kg	3,00	20,00	60,00
	Mão de obra*	diária	1,00		
Combate às formigas na fase de pós-plantio	Preço do serviço	un	1,00	250,00	250,00
	Formicida granulado à base de sulfluramida	kg	2,00	20,00	60,00
	Mão de obra*	diária	1,00		
Manutenção de aceiros	Preço do serviço	un	1,00	40,00	40,00
	Grade de 28/16*	hora	0,10		
	Óleo diesel*	L	1,60		
	Trator 120 cv*	hora	0,10		
Total			-		660,00

*Custo da máquina ou insumo já incluso no preço do serviço.

Tabela 7. Custos silviculturais do SPM de eucalipto de Goiás que se repetem nos anos 3 a 6 da segunda rotação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Combate às formigas na fase de pós-plantio	Preço do serviço	un	1,00	250,00	250,00
	Formicida granulado à base de sulfluramida	kg	3,00	20,00	60,00
	Mão de obra*	diária	1,00		

Continua...

Continuação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Manutenção de aceiros	Preço do serviço	un	1,00	40,00	40,00
	Grade de 28/16*	hora	0,10		
	Óleo diesel*	L	1,60		
	Trator 120 cv*	hora	0,10		
Total			-		350,00

*Custo da máquina ou insumo já incluso no preço do serviço.

Produtividade de madeira

A produtividade de madeira para o SPM, definido pelos participantes, foi 400 m³/ha, aos seis anos de idade, na primeira rotação (o que equivale a IMA = 66,67 m³/ha ano) e 340 m³/ha, aos seis anos de idade, na segunda rotação (IMA = 56,67 m³/ha ano), totalizando a produção de 740 m³/ha em todo o ciclo de produção (IMA médio de 61,67 m³/ha ano).

Com a conversão de 1,3 estéreo (st) por metro cúbico de madeira (definido pelos especialistas no painel) e a simulação de sortimento com aproveitamento comercial das toras a partir de 8 cm de diâmetro, foi obtido 499,6 st/ha e 422,5 st/ha na primeira e segunda rotação, respectivamente.

A conversão da produtividade de metros cúbicos para tonelada foi realizada considerando a densidade atual da madeira (DAU) conforme aquela descrita por Brito (1993), na Equação 1. A meta de umidade para comercialização da madeira considerada foi 30% base úmida e a densidade básica foi 540 kg/m³.

$$DAT_u = \frac{Db * 10.000}{(100 - u) * (100 - R_u)} \quad (1)$$

em que

$DA T_u$ = densidade atual à umidade (kg/m^3).

Db = densidade básica da madeira (kg/m^3).

u = umidade (%).

R_u = retração volumétrica esperada à umidade u .

A retração volumétrica da madeira de acordo com o seu teor de umidade foi definida de acordo com a Tabela 8. Com uma DAU de $771,428 \text{ kg/m}^3$ a 30% de umidade, obteve-se a produtividade de $308,47 \text{ t/ha}$ na primeira rotação e $262,28 \text{ t/ha}$ na segunda rotação, resultando em um IMA médio de $47,56 \text{ t/ha ano}$ para o ciclo.

Tabela 8. Retração volumétrica esperada da madeira utilizada para o cálculo do custo de produção de eucalipto no Goiás.

Umidade (%)	Retração volumétrica (%)
30	0
25	2
20	4
15	5
10	8
5	11
0	15

Fonte: Brito (1993).

A produtividade energética (Equação 5) foi calculada pelo poder calorífico líquido volumétrico à umidade “u” (PCLVu) (Equação 4), calculado a partir da multiplicação do poder calorífico líquido à umidade “u” (PCLu) (Equação 3) pela DAU, sendo o PCLu calculado a partir do poder calorífico inferior (PCI) da madeira (Equação 2), conforme definido por Brito (1993).

$$PCI = PCS - 324 \quad (2)$$

em que

PCI = poder calorífico inferior da madeira (kcal/kg).

PCS = poder calorífico superior da madeira (kcal/kg).

$$PCL_u = PCI * \frac{100 - u}{100} - 6 * u \quad (3)$$

em que

PCL_u = poder calorífico líquido à umidade (kcal/kg).

$$PCLV_u = PCL_u * DAT_u \quad (4)$$

em que

$PCLV_u$ = poder calorífico líquido volumétrico à umidade (kcal/m³).

$$Y = P * PCLV_u \quad (5)$$

em que

Y = produção energética (kcal).

P = produção volumétrica (m³).

O ciclo de produção resultou em produção energética de 868,07 Gcal/ha na primeira rotação e 737,86 Gcal/ha na segunda rotação. O IMA energético médio do ciclo foi estimado em 133,82 Gcal/ha por ano, com o aproveitamento de todo volume de madeira para produção de cavaco, entregue no consumidor com 30% de umidade de base verde.

Para analisar o impacto da umidade da madeira na produção total e na geração de energia líquida (base verde), foram calculadas as produtividades com 20, 40, 50 e 60% de umidade.

Embora a produtividade estabelecida no painel seja factível com o pacote tecnológico adotado, vários fatores podem interferir na produtividade esperada de uma floresta de eucalipto, tais como a pluviosidade, a textura e profundidade do solo, além de outros fatores edafoclimáticos (Gonçalves et al., 2014), e as variações de pluviosidade e temperatura decorrentes da mudança do clima. Visando avaliar tais incertezas e o seu impacto no sistema de produção modal, tanto econômico como na geração de energia, foram avaliados cenários com percentuais da produtividade original de 100% (P100), especificamente com 90% (P090), 80% (P080), 70% (P070) e 60% (P060) da produtividade.

Preços do mercado de lenha e cavaco

Durante o painel foram obtidos os preços para a lenha da árvore em pé de eucalipto (R\$ 120,00 por metro estereo) e para tonelada de cavaco entregue no cliente com 30% de umidade base verde (R\$ 490,00 por tonelada). Os preços para o metro cúbico (R\$ 150,00 por metro cúbico), tonelada de madeira da árvore em pé (R\$ 194,00 por tonelada) e tonelada no talhão (R\$ 337,00 por tonelada) foram calculados de forma que o VPL do projeto fosse muito próximo ao VPL da venda do metro estéreo de madeira da árvore em pé. O preço final da energia líquida (por gigacaloria) foi calculado para todos os cenários de preço, produtividade e forma de comercialização analisados.

Visando analisar a sensibilidade do resultado do sistema modal de produção ao preço pago ao produtor, cenários com preços alternativos foram analisados, especificamente com valores de 70, 80, 90, 110, 120 e 130% do preço modal, em todos os cenários de formas de comercialização, tipo do produto entregue, produtividade e custos de transporte.

Custos de colheita e de transporte

O custo de colheita e arraste no sistema *full tree (feller buncher e skidder)*, junto com a picagem da madeira realizada no campo, foi

R\$ 120,00 por tonelada, tanto na primeira quanto na segunda rotação. O transporte foi estimado em R\$ 95,00 por tonelada para uma distância de 150 km (300 km ida e volta), em caminhão de transporte de cavaco com piso móvel, que não comporta frete de retorno.

O valor do custo de transporte foi alterado para R\$ 30,00; R\$ 38,00; R\$ 56,00; R\$ 73,00; R\$ 105,00 e R\$ 120,00 por tonelada para avaliar a sensibilidade dos indicadores financeiros do SPM a esse custo de produção.

Estratégia alternativa de aquisição da madeira

Com o objetivo de avaliar uma estratégia de aquisição da madeira que pudesse reduzir o custo da energia obtida pelo consumidor, mantendo uma rentabilidade econômica atrativa para o produtor, foi simulada a estratégia de negócio onde o consumidor compra a madeira da árvore em pé a um determinado preço e contrata a colheita, a picagem e o transporte para a madeira adquirida. Diferentes níveis de Relação Benefício Custo do produtor foram estipulados e calculados os preços mínimos pagos ao produtor pelo metro estéreo de madeira da árvore em pé e, em seguida, foram adicionados os custos de colheita e picagem da madeira, e o transporte do cavaco com um teor de umidade de 30%, sendo então calculados os custos da energia líquida disponibilizada para o sistema, em reais por giga caloria.

Outros custos incidentes no sistema de produção

Um valor de R\$ 1.050,00 por hectare ano foi pago como custo de arrendamento da terra, sempre ao final de cada ano (entrada no fluxo de caixa nos anos 1 a 14). E uma remuneração real (acima da inflação) foi aplicada ao capital próprio investido no SMP, a título de taxa mínima de atratividade (TMA) de 6% ao ano.

Nos anos de colheita (7 e 14), foram realizados os inventários pré-corte ao valor de R\$ 6.000,00 cada, resultando em R\$ 120,00 por hectare.

Indicadores de viabilidade econômica utilizados

Os indicadores Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE), Taxa Interna de Retorno (TIR), Relação Benefício Custo (RBC) e Custo Médio de Produção (CMP) foram utilizados para avaliar a viabilidade econômica do SMP no cenário modal e nos cenários alternativos (Rezende; Oliveira, 2001).

Valor presente líquido (VPL)

Segundo Kassai et al. (2012), o VPL é um dos indicadores mais robustos e fáceis de calcular para analisar a viabilidade econômica de um projeto, sendo viável quando este apresenta VPL maior ou igual a zero. É calculado pela soma das receitas descontadas a valor presente (ano 0 do projeto) subtraída da soma dos custos descontados a valor presente (Equação 6).

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1 + i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + i)^t} \quad (6)$$

em que

VPL = valor presente líquido (R\$).

t = período de tempo no horizonte de planejamento.

n = duração do horizonte de planejamento.

i = taxa de desconto (neste caso a TMA).

R_t = receita obtida no período t .

C_t = custo despendido no período t .

Valor anual equivalente (VAE)

O VAE é um indicador que representa a parcela anual e constante que resulta no mesmo VPL do fluxo de caixa do projeto original (Equação 7). O projeto é economicamente viável quando o indicador é maior ou igual a zero. Pode ser utilizado para avaliar qual o máximo valor a ser pago pelo arrendamento da terra para que o projeto se

mantenha economicamente viável, quando é calculado sem considerar o custo de remuneração da terra no fluxo de caixa do projeto.

$$VAE = VPL * \frac{(1 + i)^n * i}{(1 + i)^n - 1} \quad (7)$$

em que

VAE = valor anual equivalente (R\$/ha ano).

Taxa interna de retorno (TIR)

A TIR representa a máxima remuneração média do capital investido no projeto, sendo a taxa de desconto (juros) que iguala o VPL a zero (Equação 8). O projeto é economicamente viável caso a TIR do projeto seja maior ou igual à TMA do investidor.

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1 + TIR)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + TIR)^t} \quad (8)$$

Relação benefício custo (RBC)

A RBC indica a proporção de retorno do capital investido, em valores presentes, após a conclusão do projeto. É calculada pela razão entre o valor presente das receitas e o valor presente dos custos (Equação 9), sendo o projeto economicamente viável caso a RBC seja maior ou igual a unidade.

$$RBC = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1 + i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + i)^t}} \quad (9)$$

em que

RBC = relação benefício custo.

Custo médio de produção (CMP)

O CMP é calculado pelo ajuste do preço do produto que iguala o VPL do projeto a zero, representando o valor mínimo para o preço a ser pago, de forma que o projeto seja economicamente viável (Equação 10). O projeto é viável quando o CMP for menor ou igual ao preço do produto analisado.

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{CMP * Prod_t}{(1 + i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + i)^t} \quad (10)$$

em que

CMP = custo médio de produção (R\$ por unidade).

$Prod_t$ = produção do produto em análise no período t .

Análise da viabilidade econômica

O resultado da análise de viabilidade econômica do sistema modal de produção nas cinco formas de comercialização analisadas pode ser observado na Tabela 9. A comercialização em toneladas de cavaco considerou o peso úmido (DAU) com umidade de 30%.

Tabela 9. Resultado da análise de viabilidade econômica do sistema modal de produção de madeira eucalipto no estado de Goiás.

Viabilidade econômica do sistema de produção modal						
Eucalipto para energia – P6S6 – Região GO						
Indicador		st mad – arv em pé	m³ mad – arv em pé	t mad – arv em pé	t – no talhão	t – no cliente
Remune- rando a terra	VAE (R\$/ha ano)	2.882,23	2.898,55	2.883,04	2.896,02	4.295,03
	TIR (% a.a.)	18,91	18,95	18,89	18,94	23,41
	VPL (R\$/ha)	24.164,16	24.300,98	24.170,94	24.279,81	26.008,89
	RBC	1,56	1,56	1,56	1,26	1,27
	CMP (R\$/unid)	68,91	85,93	111,39	254,02	366,93

Continua...

Continuação.

Viabilidade econômica do sistema de produção modal						
Eucalipto para energia – P6S6 – Região GO						
Indicador		st mad – arv em pé	m ³ mad – arv em pé	t mad – arv em pé	t – no talhão	t – no cliente
Não remune- rando a terra	VAE (R\$/ha ano)	4.082,23	4.098,55	4.083,04	4.096,02	5.495,03
	VPL (R\$/ha)	34.224,77	34.361,60	34.231,55	34.340,42	46.069,50
	VET (R\$/ha)	68.037,15	68.309,15	68.050,63	68.267,06	91.583,89

Legenda: P6S6 - regime de manejo com um ciclo de duas rotações, com idades de corte de seis anos na primeira rotação e seis anos na segunda rotação, st - metro estéreo, mad - madeira, arv - árvore.

Todos os cenários de comercialização propostos para o SPM de eucalipto se mostraram economicamente viáveis. Os valores de VPL e VAE nas diferentes formas de comercialização, incluindo o metro cúbico e tonelada de madeira da árvore em pé, e de tonelada de madeira no cliente, com o metro estéreo de madeira da árvore em pé, deu-se pela opção de estimativa do preço nestas três condições, conforme descrito na metodologia.

Os resultados indicam que o produtor pode aumentar a sua riqueza entre R\$ 24,1 e R\$ 24,3 mil por hectare a valores presentes (VPL) ao optar por comercializar a madeira da árvore em pé ou no talhão, após um ciclo de produção de 12 anos. Para a entrega do cavaco no cliente, entretanto, o retorno financeiro líquido estimado é R\$ 36,0 mil por hectare a valores no presente, equivalente a uma receita anual de R\$ 2,89 mil por hectare ano e R\$ 4,29 mil por hectare ano, respectivamente.

A remuneração máxima para o capital próprio investido (TIR) foi significativa, situando-se em 18,9% ao ano para a venda em pé e no talhão, e alcançando 23,4% ao ano para a entrega de cavaco no cliente. A relação benefício-custo (RBC) indica um retorno positivo para cada real investido. O retorno a valores no presente, para cada R\$ 1,00 investido no projeto, foi 0,56 reais para os cenários considerando a madeira da árvore em pé, 0,26 reais para a tonelada de madeira na borda do talhão e 0,27 reais para a tonelada de cavaco entregue no cliente (RBC). Os preços mínimos (CMP) para

que o projeto seja economicamente viável do primeiro ao quinto cenário foram: R\$ 68,91 por metro estero, R\$ 85,93 por metro cúbico, R\$ 111,39 por tonelada, R\$ 254,02 por tonelada e R\$ 366,93 por tonelada, respectivamente. Esses valores refletem o mínimo necessário para cobrir a remuneração dos fatores de produção utilizados, sem proporcionar, contudo, aumento de renda ao produtor. Em cenários onde o arrendamento de terras é considerado, o SPM mantém viabilidade econômica mesmo com o arrendamento no valor de R\$ 4,09 mil por hectare ano nos quatro primeiros cenários (VAE sem remunerar a terra). O produtor poderia, ainda, pagar um arrendamento da terra de R\$ 4,09 mil por hectare ano nos quatro primeiros cenários (VAE sem remunerar a terra) ou R\$ 5,49 mil por hectare ano no cenário de tonelada de cavaco entregue no cliente (quinto cenário) e o projeto ainda seria economicamente viável ($VPL \geq 0$).

À medida que o produtor agrega valor ao produto com operações de colheita, picagem e transporte, há um aumento tanto nos custos de produção quanto nos impostos sobre a produção, juros sobre o capital próprio e imposto de renda. O aumento da receita, em razão do aumento das operações, deve superar tais custos para que o produtor agregue valor ao seu negócio pelo trabalho adicional, aumentando o VPL (Figura 1).

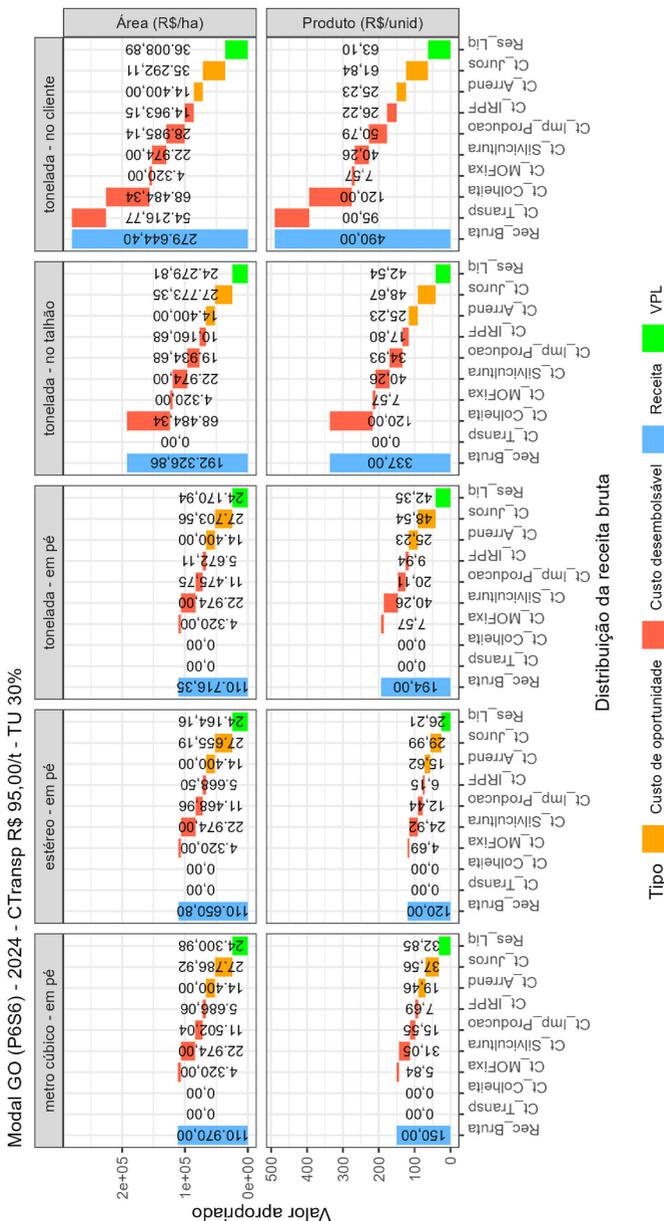


Figura 1. Apropriação da Receita Bruta pelos centros de custo das formas de comercialização do sistema modal de produção de eucalipto no estado de Goiás.

Legenda: Rec_Bruta - receita bruta, Ct_Transp - custo de transporte, Ct_Colheita - custo de colheita e picagem, ct_MOFixa - custo de mão de obra fixa, ct_Silvicultura - custo com os tratos silviculturais, ct_imp_Producao - custos de impostos incidentes sobre a produção, Ct_IRPF - custo de imposto de renda pessoa física, Ct_Arend - custo de arrendamento da terra, Ct_Juros - Custo de juros sobre capital próprio, Res_Liq - Resultado líquido do projeto = VPL.

O custo total das operações silviculturais, com preços constantes, para o ciclo de doze anos foi estimado em R\$ 22,7 mil por hectare, sendo R\$ 14,7 mil por hectare na primeira rotação e, R\$ 8,0 mil por hectare na segunda rotação. Esses custos de produção foram semelhantes aos valores obtidos pelo Projeto Campo Futuro da Confederação Nacional da Agricultura (CNA) para a primeira rotação que foi aproximadamente R\$ 16 mil por hectare no município de Curvelo, MG (produtividade esperada de 35 m³/ha ano) e um pouco inferior ao da região de Catalão, GO, R\$ 19 mil por hectare (produtividade esperada de 40 m³/ha ano) (CNA Senar Campo Futuro, 2023). O valor também foi condizente com consultas a empresas e produtores florestais com experiência naquele estado, que trabalham com foco na obtenção de elevada produtividade.

Entretanto, a produtividade esperada do SPM é superior àquelas registradas pela CNA e pelos produtores consultados. Embora este custo seja condizente com a produtividade esperada, variações podem ocorrer devido a fatores inesperados, tais como: ocorrência de secas prolongadas, equívocos nas operações de manutenção florestal, especialmente na área de proteção florestal, podendo ocorrer a incidência de incêndios ou ataque de pragas e doenças na cultura, variações de pluviosidade e temperatura, especialmente em decorrência da mudança do clima, entre outros fatores que podem impactar significativamente a produtividade. Assim, cenários com redução da produtividade foram avaliados para demonstrar sua importância para a rentabilidade e competitividade em condições adversas (Figura 2).

A umidade da madeira impacta diretamente no peso atual da madeira e na quantidade de energia líquida disponibilizada para o sistema (Brito, 1993), conforme pode ser constatado na Figura 2. Por exemplo, a madeira com 60% de umidade (base úmida) apresenta produtividade de 83,2 t/ha ano, sendo que 49,9 t/ha ano é água e 33,3 t/ha ano é madeira, e parte da energia desta madeira será utilizada para secar a própria água contida na madeira. Quando a umidade é reduzida para 30% (meta de comercialização do cavaco), há maior eficiência energética, com 47,6 t/ha ano, sendo 33,3 t/ha ano de madeira e 14,3 t/ha ano de água, gerando mais energia líquida para o sistema, devido à menor quantidade de água a ser seca pela quantidade de madeira disponível.

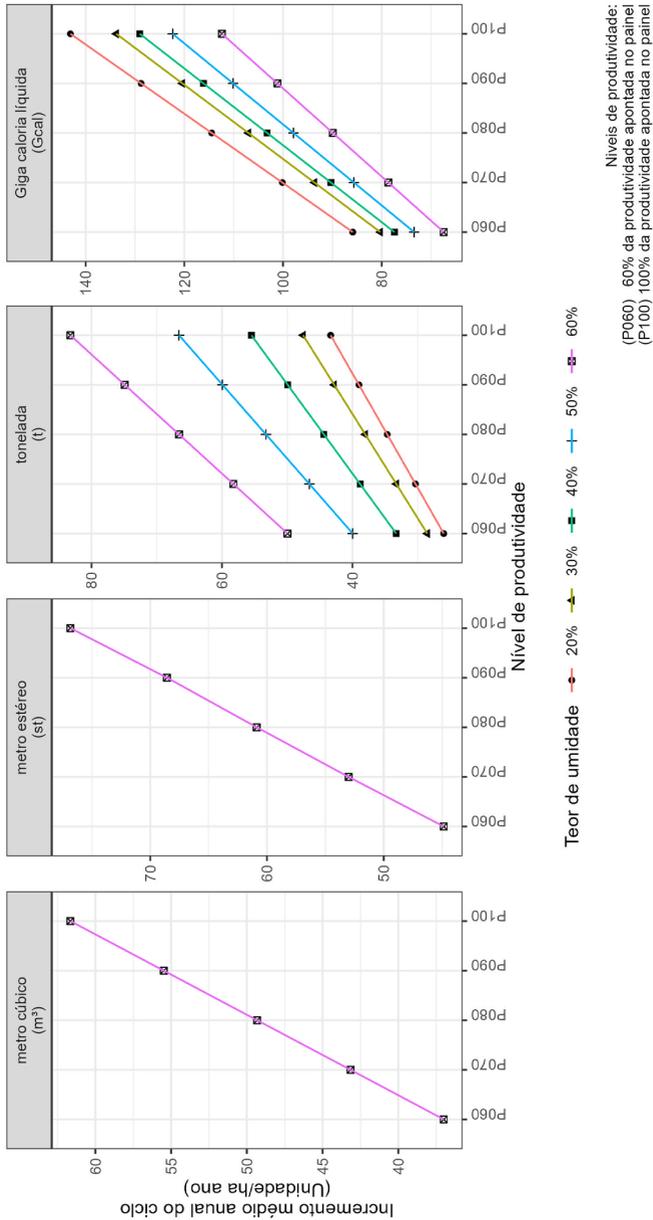


Figura 2. Impacto da redução da produtividade no incremento médio anual de volume de madeira (IMA) do ciclo de produção nos diferentes produtos de comercialização e valores de umidade do sistema modal de produção de eucalipto no estado de Goiás.

Com a produtividade de 133,8 Gcal/ha ano (P100 e 30% de umidade), seriam necessários 747 ha plantados com eucalipto para atender uma demanda de 100.000 Gcal/ano de energia. Com a redução de 30% na produtividade (P070), essa área aumentaria para 1.067 ha. Com o aumento da umidade do cavaco para 40% na produtividade P070, a área de plantios florestais necessária para atender a demanda passaria para 1.107 hectares.

Sensibilidade da viabilidade econômica às variações de preço da madeira, custo de transporte, produtividade e teor de umidade

Segundo Moreira et al. (2016, 2017), o preço recebido pelo produtor, a produtividade de madeira da floresta e o custo de transporte são variáveis cujos indicadores financeiros dos plantios florestais apresentam elevada sensibilidade, além da umidade da biomassa que é utilizada (Brito, 1993), caso a remuneração ou avaliação do custo final esteja associado à energia líquida disponibilizada para o sistema.

A Figura 3 destaca a sensibilidade do VAE do SPM às variações de custo de transporte em diferentes cenários de produtividade e preço do cavaco com 30% de umidade. A sensibilidade do VAE às variações de produtividade em diferentes cenários de custo de transporte e preço pago pelo cavaco com 30% de umidade podem ser observados na Figura 4.

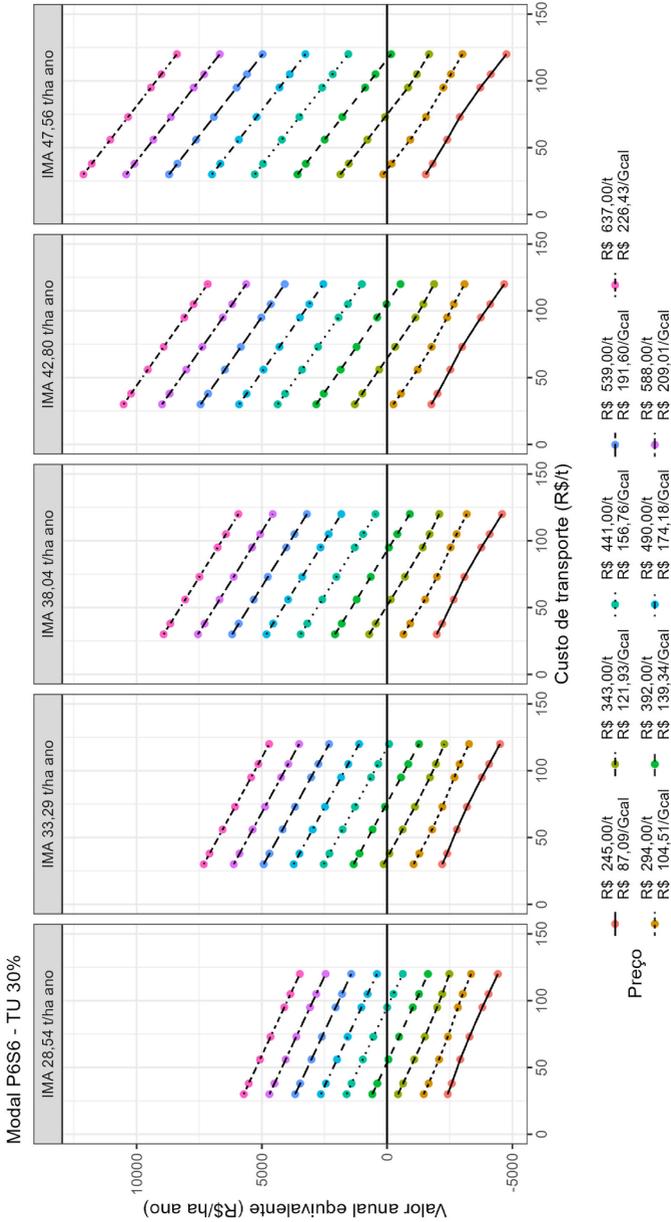


Figura 3. Valor anual equivalente (VAE) em diferentes níveis de produtividade de madeira, preço pago pelo cavaco e custo de transporte do sistema modal de produção de eucalipto no estado de Goiás.

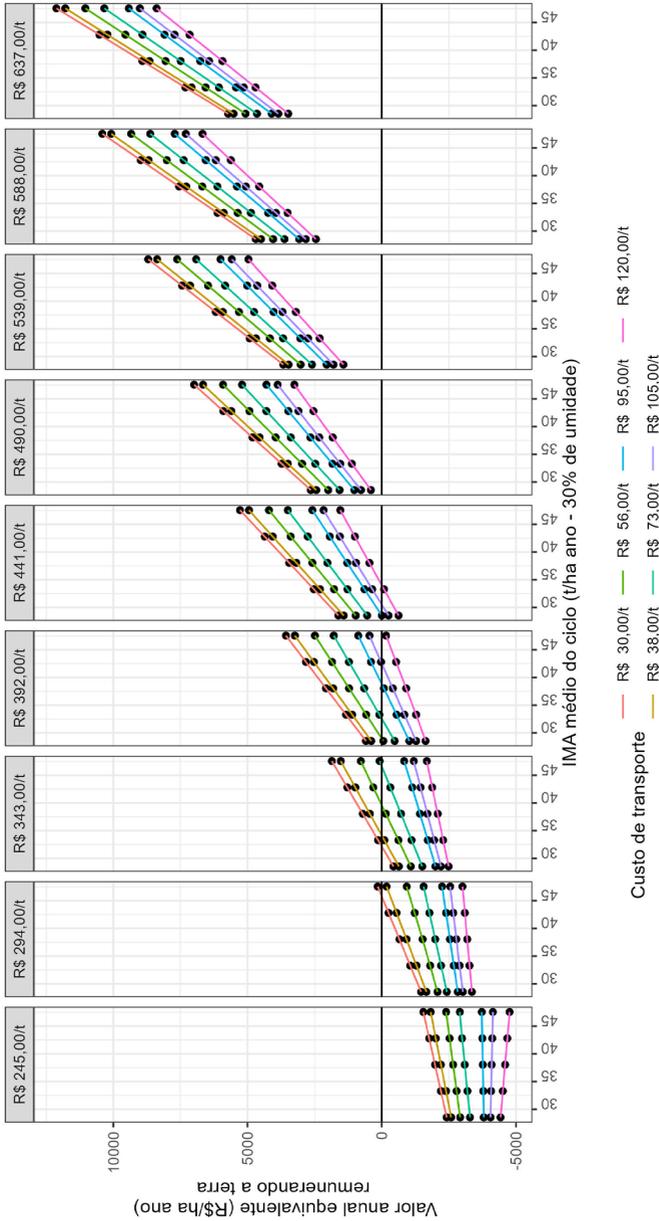


Figura 4. Impacto da produtividade de madeira (IMA) no resultado econômico (VAE), em diferentes cenários de preço recebido pelo produto e custos de transporte do sistema modal de produção de eucalipto no estado de Goiás.

A importância de uma boa produtividade para se alcançar um bom retorno econômico no SPM é demonstrada na Figura 3 e na Figura 4. Percebe-se também que a produtividade aumenta a sensibilidade do retorno econômico frente às variações de preço e custo de transporte, de forma que a obtenção de uma boa produtividade amplia não apenas o ganho médio, mas a variabilidade do ganho, possibilitando retornos econômicos substanciais em momentos de escassez de oferta.

O *tradeoff* (troca) entre as variáveis simuladas (preço, custo de transporte e produtividade) é perceptível nos gráficos. Vários cenários resultando em um VAE na faixa entre R\$ 2.600,00 e R\$ 2.800,00 por hectare ano (Tabela 10). Para todos os cenários com o mesmo nível de produtividade, a rentabilidade se mantém na faixa citada compensando o aumento do custo de transporte com o aumento do preço do cavaco e, conseqüentemente, da energia líquida gerada.

Tabela 10. Cenários com VAE entre R\$ 2.600,00 e R\$ 2.800,00 por hectare ano do custo do sistema modal de produção de madeira de eucalipto no estado de Goiás, com umidade de 30%.

Nível Produti-vidade*	Custo de transporte (R\$/t)	IMA (t/ha ano)	IMA (Gcal/ha ano)	Preço (R\$/t)	Preço (R\$/Gcal)	VAE (R\$/ha ano)
P060	120,00	28,54	80,30	588,00	209,01	2.603,88
P060	73,00	28,54	80,30	539,00	191,60	2.747,63
P060	30,00	28,54	80,30	490,00	174,18	2.791,79
P090	120,00	42,80	120,41	490,00	174,18	2.693,23
P070	73,00	33,29	93,64	490,00	174,18	2.628,21
P100	95,00	47,56	133,79	441,00	156,76	2.734,93
P070	30,00	33,29	93,64	441,00	156,76	2.679,71
P080	56,00	38,04	107,03	441,00	156,76	2.734,13
P090	38,00	42,80	120,41	392,00	139,34	2.676,34
P100	56,00	47,56	133,79	392,00	139,34	2.642,59

* P060 – 60% da produtividade original (PO), P070 – 70% da PO, P080 – 80% da PO, P090 – 90% da PO, P100 – 100% da PO. IMA - Incremento médio anual; VAE - Valor anual equivalente.

Nas simulações realizadas, os maiores custos de energia ocorrem em cenários de menor produtividade (P060). Ao preço de R\$ 490 por tonelada, o aumento de produtividade de 28,54 t/ha ano (P060) para 42,80 t/ha ano (P090) possibilita aumentos de R\$ 30,00 para R\$ 120,00 por tonelada no custo de transporte, mantendo a rentabilidade do produtor na faixa delimitada (Tabela 10). Em uma situação de queda no preço de R\$ 441,00 por tonelada para R\$ 392,00 por tonelada, ao custo de transporte de R\$ 56,00 por tonelada, seria compensada por um ganho de produtividade de 38,04 t/ha ano (P080) para 47,56 t/ha ano (P100), mantendo o produtor na mesma faixa de rentabilidade.

O Custo Médio de Produção (CMP) é um indicador financeiro crucial para determinar o menor preço a ser pago pelo produto, de modo que o projeto seja viável para o produtor, garantindo a viabilidade econômica do SMP. Entretanto, o fato do projeto ser viável implica apenas que o produtor é indiferente entre executar o projeto ou aplicar os seus recursos (terra, trabalho e capital) na segunda melhor alocação disponível, pois obteria a mesma remuneração pelos seus fatores de produção (custo de oportunidade). A atratividade da atividade, quando comparada a outras, está relacionada à possibilidade de o produtor remunerar seus fatores de produção e aumentar o seu ganho ($VPL > 0$).

As variações do CMP da energia líquida obtida pela execução do SMP em diferentes produtividades, formas de comercialização, custo de transporte e valores de umidade podem ser observadas na Figura 5.

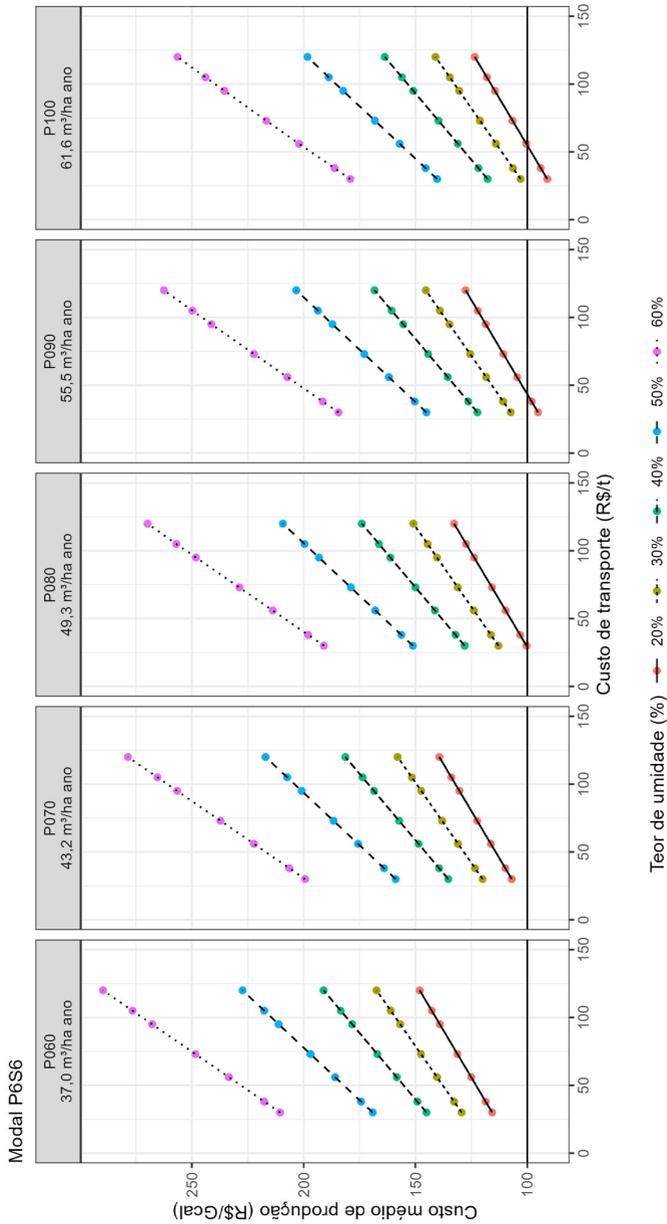


Figura 5. Custo médio de produção da energia líquida nos diferentes cenários de produtividade, custo de transporte e umidade do cavaco do sistema modal de produção de eucalipto, no estado de Goiás.

Ao se considerar os custos do SPM, a umidade do cavaco entregue de 30% e uma produtividade de 90% (55,5 m³/ha ano) do valor considerado no painel, o custo médio de produção da gigacaloria líquida disponibilizada pelo sistema variou entre R\$ 105,67 por gigacaloria e R\$ 143,70 por gigacaloria, sendo estes os menores preços por gigacaloria para manter o projeto economicamente viável ($VPL \geq 0$).

O período de preços pouco atrativos para a madeira de eucalipto entre os anos de 2014 e 2018, decorrente em parte pelo aumento da oferta de madeira no período, frustrou muitos produtores na região, que acabaram optando pela mudança de cultura e não renovando seus plantios, resultando em uma retração da oferta de madeira para os últimos anos. Reis et al. (2017) retratam essa realidade ao verificar um descompasso nas classes de idade das áreas plantadas com eucalipto no estado, em 2016. A retração da oferta associada à expansão da demanda resultou na elevação do preço da madeira que o mercado está convivendo no momento da realização deste trabalho.

A redução da amplitude de oscilação dos preços no mercado de biomassa florestal depende de políticas governamentais e setoriais para manutenção de uma rentabilidade aos produtores. Essas políticas são fundamentais para manter a atratividade do negócio e incentivando a renovação das áreas de cultivo, contribuindo para a redução dos choques de oferta e promovendo, assim, uma maior estabilidade no preço da madeira, no mercado nacional.

Compra da madeira da árvore em pé com colheita e transporte pago pelo consumidor

Quando o produtor florestal contrata ou executa a colheita e a picagem da madeira, e o transporte do cavaco até o cliente, aumenta-se o custo das operações e também a receita esperada pelo aumento de preço do produto. Juntamente com o aumento da receita bruta aumentam também os impostos pagos sobre a produção e sobre a renda obtida pelo produtor, somando-se aos custos operacionais e aumentando o custo de produção, de forma que o adicional de preço

pago ao produtor deve remunerar também o aumento dos impostos, conforme observado na Figura 1.

Como exemplo da evolução dos impostos, observa-se a comercialização de uma tonelada de madeira da árvore em pé e uma tonelada de madeira colhida e processada, com o cavaco carregado no caminhão para ser transportado, ambos realizados pelo produtor. No primeiro cenário o produtor paga R\$ 11,47 mil de ICMS e Funrural, mais R\$ 5,67 mil de imposto de renda pessoa física (IRPF), totalizando R\$ 17,14 mil de impostos (30,5 por tonelada). No segundo cenário, entretanto, os custos passam para R\$ 19,93 mil por hectare, R\$ 10,16 mil por hectare e R\$ 30,1 mil por hectare, respectivamente, representando R\$ 52,7 por tonelada de impostos. A colheita e picagem da madeira adiciona R\$ 22,2 por tonelada de impostos ao custo de produção, um aumento de 73,7% em relação ao valor quando a madeira é vendida em pé.

Uma estratégia que poderia ser adotada pela empresa consumidora, caso deseje reduzir custo e incorporar a parte da gestão e contratação da colheita, picagem e transporte do cavaco, seria a aquisição da madeira da árvore em pé e a contratação dos serviços de colheita e picagem da madeira, e transporte do cavaco.

Vários cenários com essa estratégia são apresentados nas Figuras de 6 a 10, sempre mantendo o pressuposto que o consumidor paga um certo preço determinado pela madeira da árvore em pé, e contrata os serviços de colheita, picagem e transporte ao mesmo custo que seria contratado pelo produtor.

A variação do custo final da energia líquida obtida com a queima do cavaco com 30% de umidade em função do custo de transporte, para distintos cenários de preço pago ao produtor pelo estéreo de madeira da árvore em pé, é apresentada nas Figuras 6, 7 e 8. Nessas três figuras pode-se observar o impacto que a produtividade tem no custo final da energia. Os preços foram ajustados de forma que o indicador de viabilidade econômica relação benefício custo (RBC) atingisse um certo valor variando de 1,00 a 1,50.

Com a produtividade modal estabelecida no painel (76,84 st/ha ano – P100) com teor de umidade de 30%, o produtor teria de receber

R\$ 91,29 por metro estero de madeira para obter uma RBC de 1,3, ou seja, para receber R\$ 0,30 de remuneração adicional para cada real investido no projeto (Figura 6). Com um custo de transporte de R\$ 95 por tonelada de madeira, o custo da energia para o consumidor seria R\$ 128,88 por gigacaloria. Caso a produtividade chegue a 80% do valor estabelecido no cenário modal (60,87 st/ha ano), o preço a ser pago ao produtor para obter a mesma RBC seria R\$ 115,23 por metro estero de madeira, que resultaria em um custo de energia líquida de R\$ 142,31 por gigacaloria (Figura 7B).

As linhas com a variação do custo da energia líquida em função do preço pago pelo estéreo da madeira da árvore em pé para o produtor são apresentadas nas Figuras 9 e 10. Cada linha representa esta relação com um custo específico de transporte, e cada ponto ao longo de cada linha representa o valor do preço estimado para que o produtor receba uma RBC específica, variando de 1,00 (primeiro ponto da linha) até 1,5 (último ponto da linha). A Figura 9 apresenta os dados com a produtividade meta do SPM (P100) e a Figura 10, os dados dos quatro cenários alternativos de produtividade (P090-A, P080-B, P070-C e P060-D).

A comparação do custo da energia obtida com a compra da madeira entregue pelo produtor com a compra da madeira da árvore em pé e o pagamento dos serviços de colheita, picagem e transporte é realizada a seguir: para o cenário meta de produtividade (P100 = 74,86 st/ha ano), o produtor que entrega o cavaco no cliente com um custo de transporte de R\$ 95,00 por tonelada, deve receber um valor de R\$ 539,00 por tonelada de cavaco com 30% de umidade para obter uma RBC de aproximadamente 1,38, resultando em um custo de aquisição de energia de R\$ 191,6 por gigacaloria. Para um mesmo custo de transporte e produtividade, para que o produtor obtenha uma RBC de 1,35, deveria receber R\$ 95,76 por metro estero de madeira da árvore em pé, resultando em um custo de aquisição de energia de R\$ 131,45 por gigacaloria para o consumidor. Para uma RBC de 1,40, o produtor deveria receber R\$ 100,32 por metro estero de madeira da árvore em pé, resultando em um custo de energia adquirida de R\$ 134,07 por gigacaloria para o consumidor.

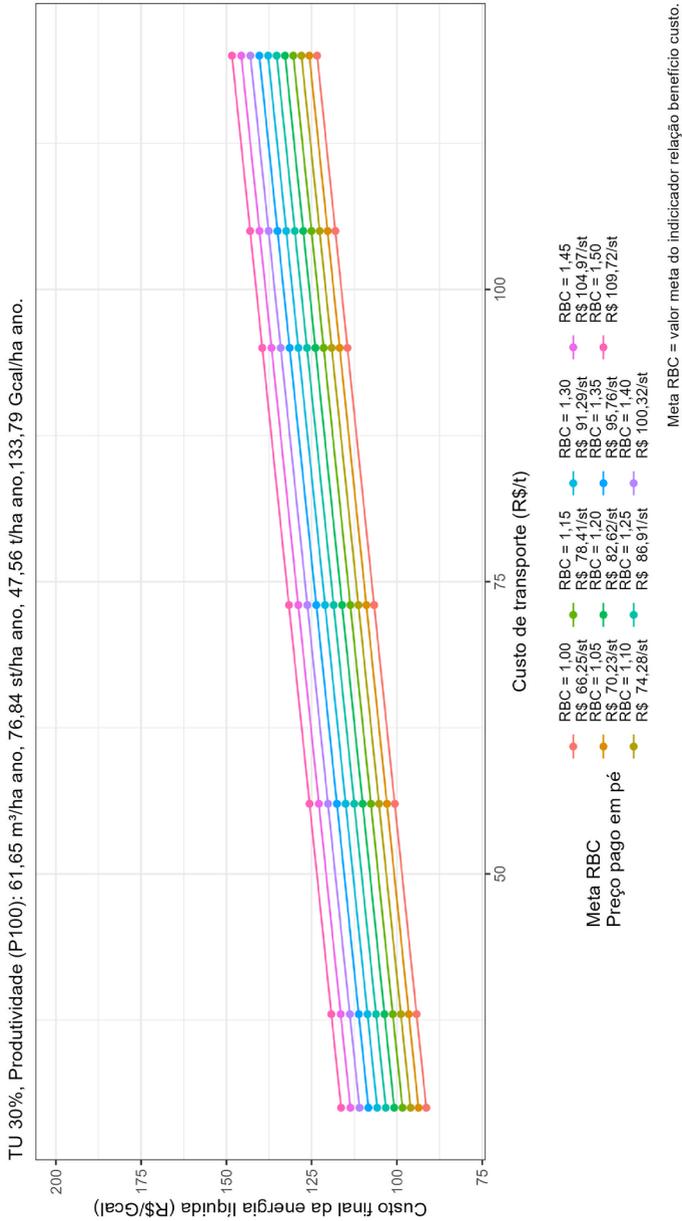


Figura 6. Custo da energia líquida para madeira comprada com a árvore em pé em relação ao custo de transporte, com colheita e transporte por parte do comprador, no cenário de produtividade P100.

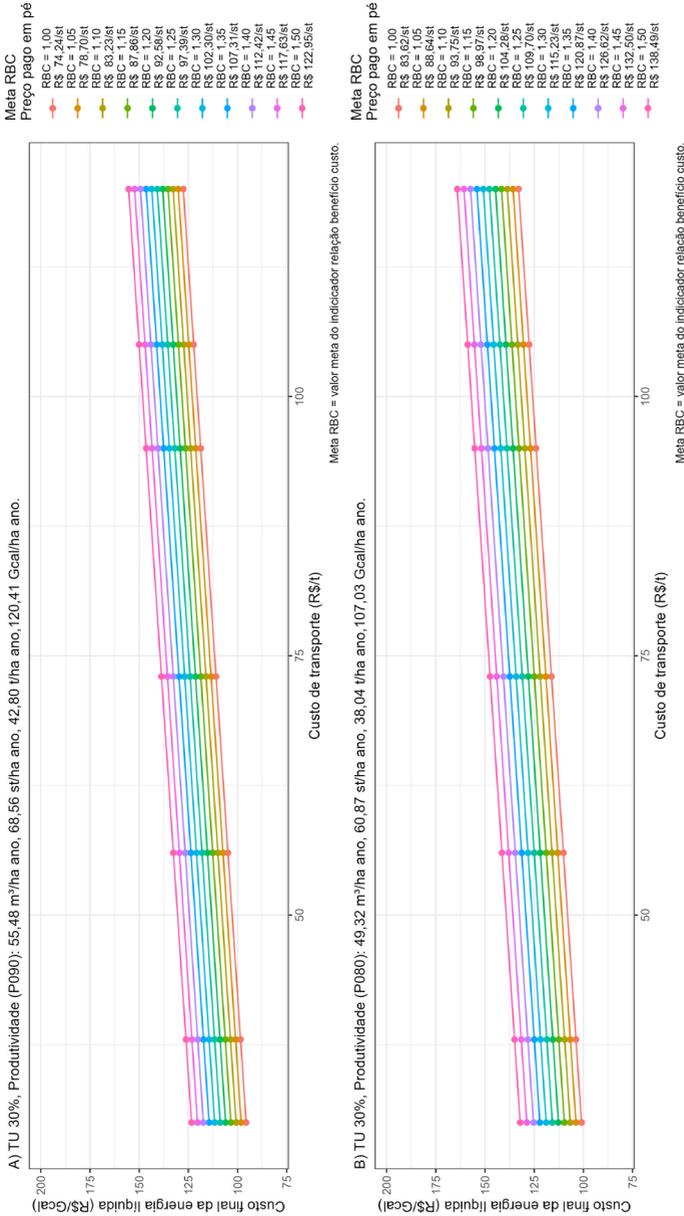


Figura 7. Custo da energia líquida para madeira comprada com a árvore em pé em relação ao custo de transporte, com colheita e transporte por parte do comprador, nos cenários de produtividade P090 e P80.

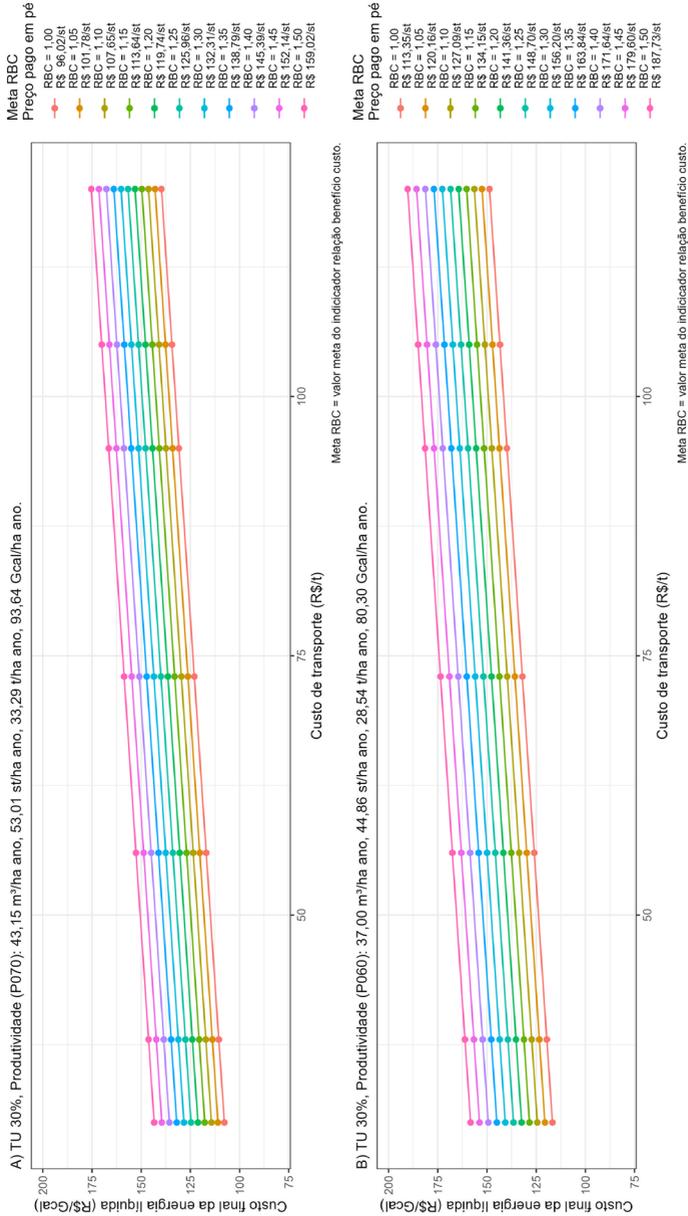


Figura 8. Custo da energia líquida para madeira comprada com árvore em pé em relação ao custo de transporte, com colheita e transporte por parte do comprador, nos cenários de produtividade P070 e P60.

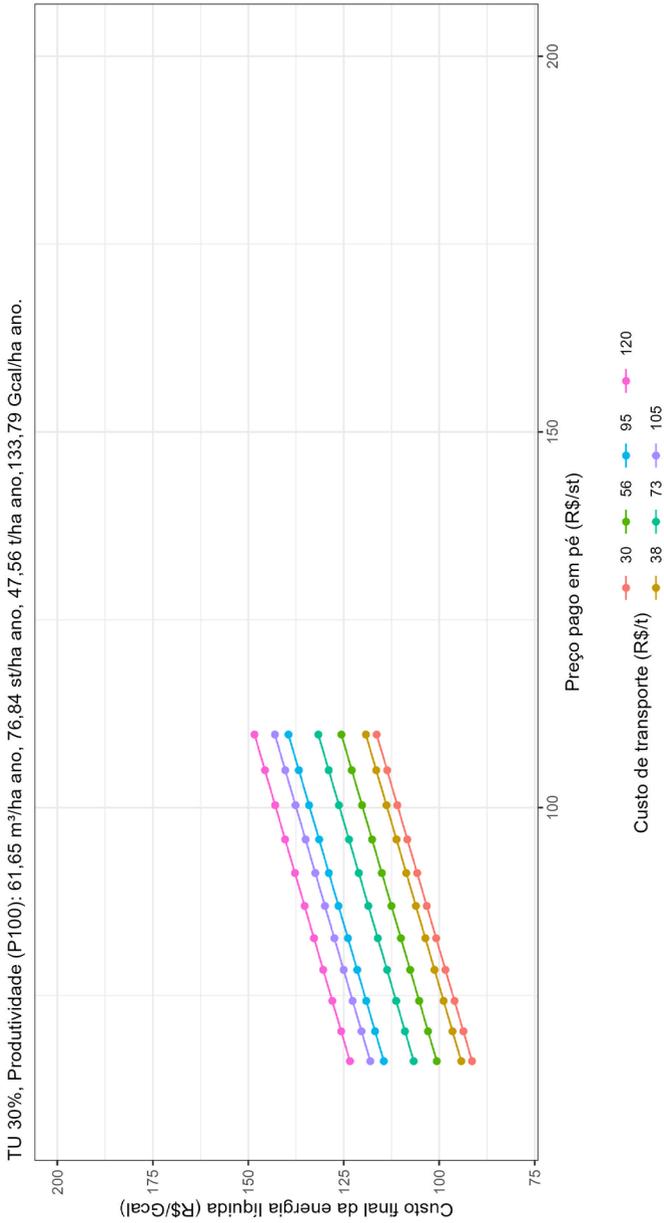


Figura 9. Custo da energia líquida para madeira comprada com a árvore em pé em relação ao preço pago, com colheita e transporte por parte do comprador, no cenário de produtividade P100.

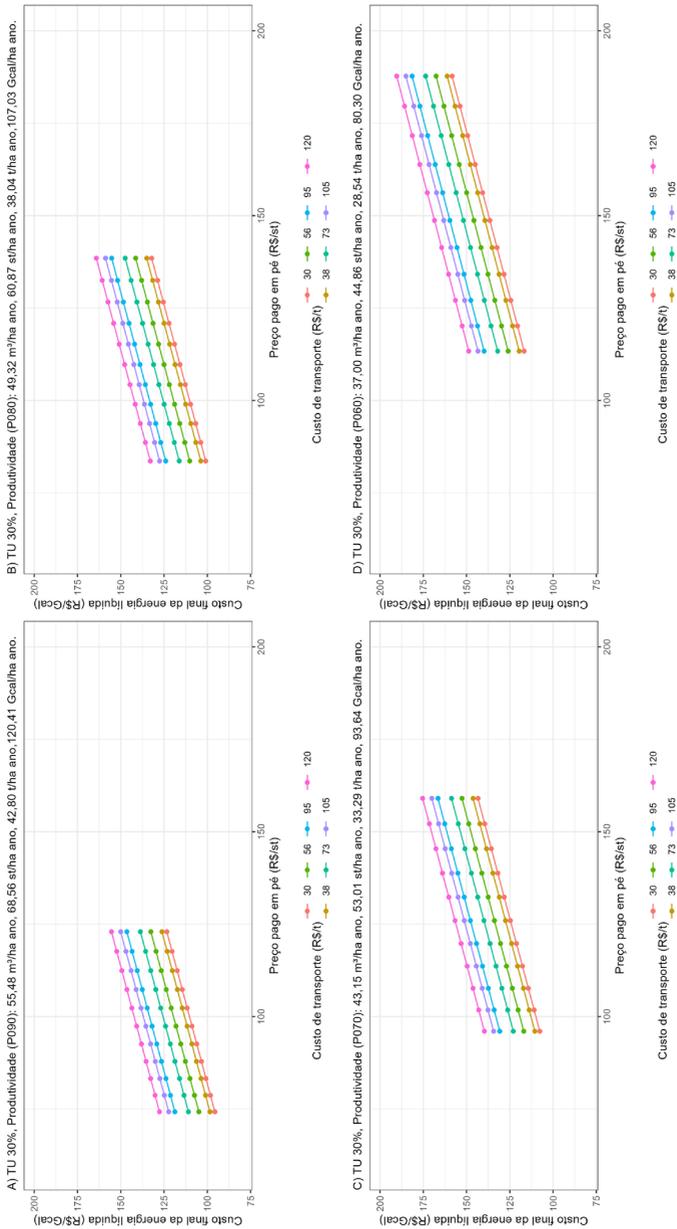


Figura 10. Custo da energia líquida para madeira comprada da árvore em pé, em relação ao preço pago, com colheita e transporte por parte do comprador, nos cenários de produtividade P090 a P060.

A diferença aproximada do custo de energia nas duas estratégias de compra de biomassa ficou entre R\$ 57,53 por gigacaloria (30,0%) e R\$ 60,15 por gigacaloria (31,4%). Vale ressaltar que esta diferença não envolve os custos administrativos do consumidor na organização da atividade de colheita e transporte, nem os possíveis custos e economias tributárias por desempenhar estas atividades, devendo ser avaliadas pelo consumidor caso haja interesse em implementar esta estratégia.

Na comparação das Figuras 9 e 10 destaca-se a importância da produtividade para a obtenção de bons retornos econômicos ao produtor, com consequente redução do custo da energia adquirida pelo consumidor. Os custos de energia são maiores para os mesmos cenários de RBC e custo de transporte, exigindo maiores valores pagos pela madeira da árvore em pé em cenários de menor produtividade.

Considerando um custo de transporte de R\$ 95,00 por tonelada, uma RBC de 1,3 é alcançada pelo produtor ao receber R\$ 91,29 por metro estero de madeira da árvore em pé, resultando em um custo de energia de R\$ 128,88 por gigacaloria no cenário P100 (Figura 9). No cenário P080 (Figura 10b), entretanto, a mesma RBC com o mesmo custo de transporte é atingida quando o produtor recebe R\$ 115,23 por metro estero de madeira da árvore em pé, resultando em um custo de energia de R\$ 142,00 por gigacaloria. Uma redução aproximada de 20% na produtividade necessitou um aumento do preço pago ao produtor de 26,2% para a mesma RBC, resultando em um aumento de 10,18% no custo de aquisição de energia. A amplitude do aumento do preço pago ao produtor para passar de uma RBC igual a 1,00 para 1,50 também é maior nos cenários de menor produtividade (Figura 10).

Conclusões e recomendações

O SPM desenvolvido para o cultivo de eucalipto em Goiás demonstra que, com um ciclo de produção com duas rotações e manejo tecnicamente planejado e adequado, inclusive com a contratação de

consultoria e serviços terceirizados, o cultivo de eucalipto pode fornecer suprimento contínuo e competitivo de madeira para a matriz energética regional. A combinação de clones de eucaliptos adaptados às condições edafoclimáticas do Cerrado e a aplicação de procedimentos técnico-operacionais de alta tecnologia mostrou-se economicamente viável, tanto para a comercialização do metro estéreo de madeira da árvore como para o cavaco entregue ao cliente.

As análises financeiras indicam que o custo de produção, juntamente com o custo de colheita e transporte da madeira foram condizentes com os valores de referência de regiões brasileiras consolidadas no cultivo de eucalipto com alta tecnologia e alta produtividade, bem como em documentos técnicos relacionados ao custo de produção publicados nos últimos anos. Mesmo considerando a adoção de assistência técnica especializada e cenários de variações na produtividade e no custo de transporte, o SMP se mostrou viável, demonstrando uma boa margem de competitividade frente às oscilações do mercado. Vale salientar que, no presente estudo, considerou-se que os insumos são adquiridos pelo prestador de serviço e, ao repassar para o produtor, ocorre dupla a incidência dos impostos da prestação de serviços sobre os insumos, elevando o preço dos mesmos.

O desempenho econômico do SMP apresentou elevada sensibilidade a três fatores principais: o preço recebido pelo produtor, a produtividade de madeira e o custo de transporte. Essas variáveis influenciam diretamente a competitividade do SMP e, portanto, demandam atenção estratégica no planejamento e execução de todas as etapas do empreendimento florestal, sobretudo relacionado às oscilações que podem ocorrer nesses fatores para assegurar a rentabilidade do produtor e a viabilidade do negócio.

Outra variável fundamental para uma boa geração de energia líquida a partir do SMP é a umidade do cavaco no momento da queima na caldeira. O cavaco com menor teor de umidade resulta em menor custo energético para a indústria e, conseqüentemente, maximiza a geração de energia líquida.

A estratégia de compra da madeira da árvore em pé dos produtores e a contratação dos serviços de colheita, picagem e transporte

têm potencial de reduzir o custo da energia obtida com uma remuneração atrativa para os produtores. Entretanto, a redução analisada neste trabalho não considerou os custos gerenciais e administrativos da organização da logística de colheita, picagem e transporte da madeira, bem como eventuais variações tributárias pela contratação destes serviços pela indústria consumidora, devendo a mesma incorporar tais variáveis na sua análise, de acordo com a sua realidade, para então tomar a decisão sobre esta estratégia ou a compra do cavaco já entregue.

A implementação de um modelo de precificação da madeira que remunere adequadamente o produtor para entrega de cavaco com adequado teor de umidade pode trazer benefícios para toda a cadeia produtiva, especialmente por incentivar mecanismos que promovam maior eficiência industrial e aumento da qualidade do produto fornecido.

Referências

BRITO, J. O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Floresta para o desenvolvimento**: política, ambiente, tecnologia e mercado: anais. São Paulo: SBS; [S.l.]: SBEF, 1993. v. 3, p. 280-282.

CNA SENAR CAMPO FUTURO: Silvicultura. Gerenciando os custos de produção na cultura do eucalipto. Brasília, DF: CNA; SENAR, set. 2023. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/publicacoes/gerenciando-os-custos-de-producao-na-cultura-de-eucalipto>. Acesso em: 4 out. 2024.

GONÇALVES, J. L. de M.; ALVARES, C. A.; BEHLING, M.; ALVES, J. M.; PIZZI, G. T.; ANGELI, A. Produtividade de plantações de eucalipto manejadas nos sistemas de alto fuste e talhadia, em função de fatores edafoclimáticos. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 103, p. 411-419, 2014.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura 2023**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2023>. Acesso em: 7 out. 2024.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Ibá: 2023: relatório anual**. Brasília, DF, 2023. 66 p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2024.

KASSAI, J. R.; CASANOVA, S. P. de C.; SANTOS, A. dos; ASSAF NETO, A. **Retorno de investimento**: abordagens matemática e contábil do lucro empresarial. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012. 277 p.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; SIMIONI, F. J.; SANTANA, L. F. de. Impacto do regime de manejo na rentabilidade da produção de lenha de eucalipto na região de Itapeva-SP, sob condições de risco. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 54., 2016, Maceió. **Desenvolvimento, território e biodiversidade**: anais eletrônicos. [S.l.]: SOBER, 2016. 13 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147976/1/2016-J. Mauro-SOBER-Impacto.pdf>. Acesso em: 9 out. 2024.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; SIMIONI, F. J.; SANTANA, L. F. de. Impacto do custo de transporte no risco da rentabilidade florestal na região de Itapeva-SP. **Revista Paranaense De Desenvolvimento**, v. 38, n. 132, p. 77-89, 2017.

REIS, C. F.; TALONE NETO, A.; BRUNCKHORST, A.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; PEREIRA, A. V.; MORAES, A. da C. **Cenário do setor de florestas plantadas no Estado de Goiás**. [Colombo]: Embrapa Florestas; [S.l.]: SEBRAE, [2017]. 79 p.

REZENDE, J. L. P. de; OLIVEIRA, A. D. de. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2001. 389 p.

