Outras Formas de Degradação do Solo

Capítulo 9

Carlos Alberto Flores
Celso Vainer Manzatto
Iedo Bezerra Sá
Luciano José de Oliveira Accioly
Tatiana Deane de Abreu Sá
Flávio Hugo Barreto Batista da Silva
Thomaz Correia e Castro da Silva

Desertificação

A Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (United Nations, 2001) conceituou a desertificação como o "processo de degradação das terras das regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de diferentes fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas". Estão ligados a essa conceituação, as degradações do solo, da fauna, da flora e dos recursos hídricos.

Considerando que as regiões de clima árido e semi-árido constituem os ambientes mais suceptíveis à degradação, no Brasil os processos de desertificação afetam principalmente a região Nordeste. Apesar disso, outras áreas, como as areias de Alegrete (localizadas no sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul) têm sido mencionadas como áreas sob processo de desertificação. No entanto, do ponto de vista da dimensão da área impactada e das conseqüências sociais envolvidas a desertificação é, nitidamente, um problema do semi-árido brasileiro, sendo o caso de Alegrete considerado como um processo de arenização.

No Brasil, os relatos sobre desertificação se intensificaram a partir das décadas de 70 e 80 (Rodrigues, 1997). Durante a década de 90, a desertificação passou de tema regional para ganhar relevência nacional por força da Agenda 21 (que trata do assunto no capítulo 12 - Manejo de Ecossistemas Frágeis: A luta contra a desertificação e a seca) e da Convenção das Nações Unidas para o Combate da Desertificação (UNCCD) da qual o Brasil é signatário desde de 1994.

A desertificação é um processo complexo cuja avaliação envolve variáveis de natureza física, biológica e socioeconômica. Neste contexto, o solo é uma das variáveis complexas do meio físico que apresenta propriedades que podem ser utilizadas como indicadores do processo da desertificação (e.g., profundidade efetiva, teor de matéria orgânica, salinidade, etc). Desta forma, a multidisciplinariedade e a integração de dados provenientes de inúmeras variáveis é um processo quase obrigatório nos estudos de desertificação e, como tal, é possível a abordagem do tema, não apenas neste, mas também em outros capítulos deste documento.

Dada a característica multidisciplinar da desertificação os trabalhos sobre o tema, normalmente, utilizam um conjunto de indicadores da mais variada natureza. As diferenças no número e tipo de indicadores, e também nos critérios de classificação das áreas potencialmente susceptíveis à desertificação, têm levado à produção de mapas que, como era de ser esperar, diferem na área e/ou no grau de ocorrência da desertificação. Desta forma, quando se considera as classes no intervalo entre muito grave e moderada, a desertificação no Nordeste do Brasil pode atingir uma área que varia entre 182.000 e 665.500km^2, segundo Sá et al. (1994) e Ferreira et al. (1994), respectivamente.

Para se restringir ao tema deste livro, a desertificação passa a ser tratada com ênfase na degradação dos solos e suas relações com o uso e a cobertura vegetal. O uso e o manejo inadequado dos solos são apontados como as principais causas de origem antrópica relacionadas com a desertificação. No Nordeste do Brasil, várias formas de uso podem acarretar em diferentes processos que resultam em desertificação. O extrativismo tanto vegetal (principalmente voltado para obtenção de lenha para fins energéticos) quanto mineral, assim como o sobrepastoreio das pastagens nativas ou cultivadas e o uso agrícola por culturas que expõem os solos aos agentes da erosão são as principais causas dos processos de desertificação que atingem as áreas não sujeitas à irrigação. Quando a atividade é a agricultura irrigada, a salinização dos solos é o princi-

pal agente do processo de desertificação. A salinização dos solos, no entanto, será tratada em outro item desse capítulo.

Um levantamento da literatura produzida no Brasil sobre o tema até meados da década de 90 (Rodrigues, 1997) evidenciou que entre os indicadores utilizados para avaliar a desertificação, a erosão dos solos é o que tem sido utilizada com maior freqüência.

Um dos trabalhos pioneiros de identificação de áreas em processo avançado de desertificação foi realizado por Vasconcelos Sobrinho (1983). Com base na interpretação visual de imagens do satélite Landsat de 1976 e 1978, esse autor mapeou, na escala de 1:500.000, oito núcleos de desertificação na região Semi-Árida de Pernambuco, ressaltando a destruição dos solos do semi-árido nordestino como o mais grave dos efeitos da desertificação.

Na escala regional, o primeiro trabalho de classificação do Semi-Árido em termos de susceptibilidade à desertificação, que considerou primordialmente indicadores associados aos solos foi realizado pela Embrapa através do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (Embrapa Semi-Árido; Riché et al., 1994). Embora este trabalho tenha considerado a classificação de susceptibilidade à desertificação, apenas para as áreas do semi-árido com precipitação inferior a 500mm, ele representa um grande avanço nos aspectos físicos da desertificação não apenas por usar classes de solos, relevo e susceptibilidade à erosão, mas também, por utilizar a espacialização quanto à susceptibilidade à desertificação segundo as unidades geoambientais incluídas no Zoneamento Agroecológico do Nordeste (ZANE) (Silva et al., 1993; Embrapa Solos, 1995). Pelo fato deste trabalho não incluir as demais áreas da região Nordeste com precipitação superior a 500mm, mas ainda contempladas dentro do conceito de desertificação, é bem provável, que o mesmo tenha subestimado o valor real da área susceptível à desertificação. Neste trabalho, Riché et al. (1994) apresentaram os estados da Paraíba e do Ceará como os mais afetados pelos processos de desertificação. À época, estes estados possuíam, respectivamente, 37 e 29% das suas terras em processo de desertificação severo (Tabela 01).

As classes de risco à desertificação na região Nordeste foram também determinadas por Riché et al. (1994) para indicadores associados às características dos solos (classe do solo e sensibilidade à erosão) uso e tempo de ocupação, relevo e precipitação média anual. Por esses indicadores, verifica-se que cerca de 16% do Semi-Árido nordestino apresenta processo de desertificação entre severo e acentuado (Tabela 02).

Na elaboração do seu mapa Riché et al. (1994), consideraram os Luvissolos e Neossolos Líticos como os mais suscetíveis aos processos de desertificação, sendo a localização geográfica das áreas com problemas de desertificação apresentada, em forma esquemática, na Figura 1.

Analisando os dados do Zoneamento Agroecológico do Nordeste, elaborado pela (Embrapa Solos, 2001), concluiu-se que aproximadamente 1/3 da região semi-árida, ou cerca de 353.870km^2 é constituída por terras com muito baixa a baixa oferta ambiental (solos rasos, pedregosos e/ou salinos em clima árido), que estão atualmente sendo utilizados com pecuária em regime extensivo, agricultura de subsistência e algodão, em manchas de solos de menor limitação. A conjugação desta exploração, com domínio de pequenas e médias propriedades e a ocorrência comum de valores de densidade da ordem de 15-20hab/km^2, exercem uma forte pressão antrópica sobre os solos e vegetação, sugerindo portanto que as terras sob risco de desertificação devem ser superiores às estimadas anteriormente. De fato, algumas dessas áreas já se encontram em processo avançado de desertificação, sendo recentemente

Tabela 1. Área em processo de desertificação nos estados do Nordeste (ha, %).

Níveis de Degradação	Solos	Alagoas	Bahia	Ceará	Paraíba	Pernambuco	Piauí	Rio Grande do Norte	Sergipe
Severo	Luvissolos	90.400 3,26	2.031.300 3,63	4.253.000 28,98	2.106.100 37,36	2.629.800 16,58	588.700 2,34	896.200 16,92	271.200 12,29
Acentuado	Neossolos	-	667.300 1,19	885.600 6,03	692.500 12,28	721.100 7,34	54.000 0,21	141.100 2,66	-
Moderado	Argissolos e Neossolos	-	163.200 0,29	509.900 3,47	298.500 5,29	154.400 1,57	792.300 3,17	265.800 5,01	-
Baixo	Planossolos	-	-	2.060.000 14,03	429.300 8,62	-	61.100 0,24	602.100 11,35	-
Total		90.400 3,26	2.861.800 5,11	7.708.500 52,51	3.526.400 63,55	2.505.300 25,49	1.496.100 5,96	1.905.200 35,94	271.200 12,29

Fonte: Zoneamento das áreas em processo de degradação ambiental no Trópico Semi-Árido do Brasil, Embrapa, 1995.

Tabela 2. Escala de desertificação e respectivas áreas na Região Nordeste do Brasil.

Níveis de degradação ambiental	Tipos e associações de solos	Relevo	Sensibilidade à erosão	Tempo de ocupação	Área mais seca do TSA (%)	TSA (%)	NE (%)
Severo	Luvissolos	Suave ondulado Ondulado	Forte	Longo (algodão)	18,42	12,80	7,15
Acentuado	Neossolos Líticos	Ondulado, Forte Ondulado e Montanhoso	Muito forte	Recente cultivo de subsistência	10,23	3,40	1,90
Moderado	Argissolos e Neossolos Cambicos	Ondulado e Forte Ondulado	Moderado	Longo cultivo comercial	10,21	3,40	1,89
Baixo	Planossolos	Plano e Suave Ondulado	Moderado	Médio pastagem e cultivo de subsistência	7,07	2,35	1,89
TOTAL			**20.364.900ha**		**65,93**	**21,95**	**12,25**

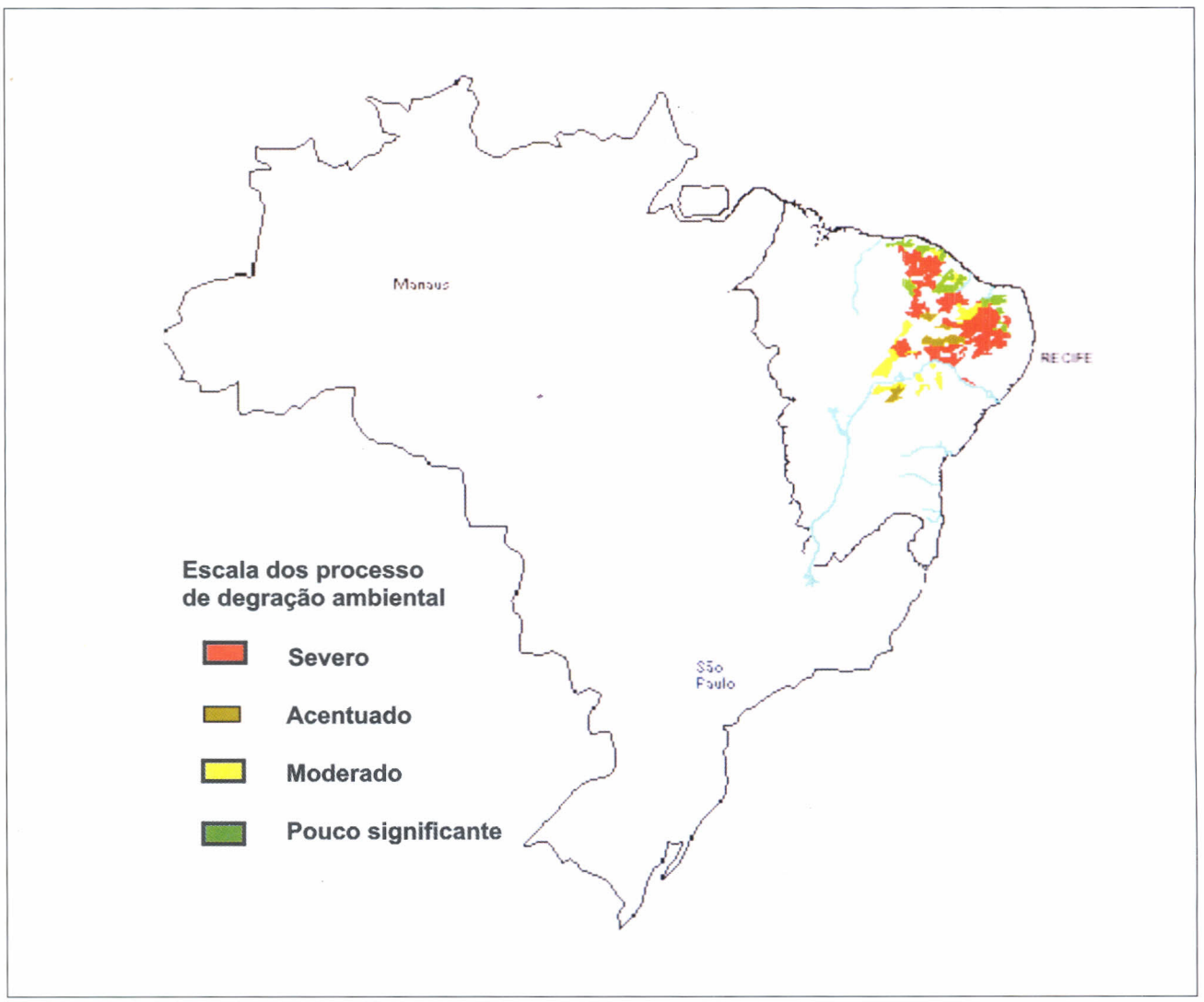

Figura 1. Mapa da Desertificação no Brasil (Adaptado de Riché et al.,1994)[1]

[1]O mapa evidencia, também, a delimitação da região Nordeste incluindo a parte semi-árida do Estado de Minas Gerais e os principais cursos d'água da região.

selecionados quatro núcleos, nos municípios de Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó (RN/PB) e Cabrobó (PE), onde os efeitos estão concentrados em pequena e delimitada parte do território (cerca de 15.000km^2) porém com danos de profunda gravidade.

O diagnóstico básico Plano Nacional de Combate à Desertificação em elaboração pelo MMA que conta, inclusive com mapas de susceptibilidade à desertificação, indica perdas da ordem de US$ 300 milhões/ano devido aos processos de desertificação no Brasil. O diagnóstico indicou uma área total de 1.548.672km^2 com algum processo de degradação, sendo que 98.595km^2 se encontram na forma muito grave. Estimam-se custos da ordem de US$ 2 bilhões a serem gastos em 20 anos somente para a recuperação das áreas mais gravemente afetadas.

Estudos recentes realizados por Accioly et al. (2001) no núcleo de desertificação do Seridó relacionou a classe de uso e a biomassa da caatinga com a classe de solo (Tabelas 3 e 4). As lavouras e as pastagens naturais com gramíneas ocuparam cerca de 38 % das áreas de Planossolos e Neossolos Regolíticos e menos de 20 % das áreas de Luvissolos e Neossolos Litícos.

Esses resultados mostraram que o enfoque sobre as causas dos processos de desertificação que estão ligadas a fatores físicos e biológicos e a conseqüente seleção de indicadores devem considerar as relações entre classe de solo e o uso atual, dando ênfase, também, a produtividade das culturas e das pastagens quando se tratar de Neossolos Regolíticos e Planossolos e, a produtividade de biomassa da caatinga, quando forem considerados os solos Neossolos Liticos e os Luvissolos.

A produtividade de biomassa da caatinga, no entanto, apresentou diferenças consideráveis quando analisada para as principais classes de solo que ocorrem no núcleo de desertificação do Seridó (Tabela 4). Embora as áreas ocupadas com caatinga sejam semelhantes para os Luvissolos e para os Neossolos Líticos (Tabela 3), cerca de 50 % da produtividade da biomassa de caatinga nos Neossolos Líticos esteve acima de 10 Mg/ha, enquanto nos Luvissolos o percentual nessa faixa foi de apenas 4% (Tabela 4). Como conseqüência, os Luvissolos, em geral, apresentam menor cobertura vegetal e, portanto, estão muito mais sujeitos aos efeitos danosos dos processos de desertificação do que os Neossolos Líticos do núcleo de desertificação do Seridó. A principal razão para uma maior cobertura vegetal nos Neossolos Líticos dessa área está na dificuldade de acesso inerente a este tipo de solo (declividades acentuadas em relevo movimentado) para a exploração de lenha. Por se situarem na paisagem numa posição de relativamente fácil acesso, a exploração da caatinga para lenha é facilitada nas áreas de ocorrência dos demais tipos de solo.

Esses resultados mostraram que o enfoque sobre as causas dos processos de desertificação que estão ligadas a fatores físicos e biológicos e a conseqüente seleção de indicadores deve considerar as relações entre

Tabela 3. Uso atual em percentagem por unidade de solos da área piloto com 75.000ha do Núcleo de Desertificação do Seridó, RN.

Uso Atual (%)	Classe de Solo			
	Luvissolos	Planossolos	Neossolos Regolíticos	Neossolos Líticos
Caatinga	69	55	53	74
Lavouras	12	21	20	2
Pastagens	9	17	17	5
Outras Classes [1]	10	7	10	19

[1]Estão contidos em outras classes, píxels não classificados e píxels classificados em uma das seguintes classes: área urbana, açudes e solo exposto (esta última apenas para o caso de Neossolos Líticos).

Tabela 4. Biomaasa da Caatinga por unidade de solo da área Piloto de Desertificação do Seridó, RN.

Biomassa [1] (Mg/ha)	Classe de Solo			
	Luvissolos	Planossolos	Neossolos Regolíticos	Neossolos Líticos
0.1 a 5.0	21.5	11.0	7.5	2.5
5.0 a 10.0	43.5	38.0	43.0	14.5
10.0 a 15.0	4.0	5.5	3.0	25.0
15.0 a 20.0	0.2	0.3	0.1	30.5
Maior que 20.0	0.0	0.0	0.0	2.0

[1]Biomassa do estrato arbóreo/arbustivo para plantas com diâmetro à altura do peito (DAP) maior ou igual a 1cm.

classe de solo e o uso atual, dando ênfase, também, a produtividade das culturas e das pastagens quando se tratar de Neossolos Regolíticos e Planossolos e a produtividade de biomassa da caatinga quando forem considerados os solos Neossolos Liticos e os Luvissolos.

Arenização

Arenização é aqui entendida como o processo de retrabalhamento de depósitos arenosos pouco ou não consolidados, que acarreta dificuldades para a fixação da cobertura vegetal, devido à intensa mobilidade dos sedimentos pela ação das águas e dos ventos. É a degradação, relacionada ao clima úmido, em que a diminuição do potencial biológico não resulta em condições de tipo deserto. O Rio Grande do Sul, que possui precipitação média de 1.400mm, apresenta algumas áreas em fase de arenização.

A região de ocorrência dos areais está localizada no sudoeste do Rio Grande do Sul, a partir do meridiano de 54 em direção oeste até a fronteira com a Argentina e a República Oriental do Uruguai. A degradação do solo nesta área apresenta-se sob a forma de areais. Estes ocupam uma larga faixa, onde se localizam os municípios de Alegrete, Cacequi, Itaqui, Maçambará, Manoel Viana, Quaraí, Rosário do Sul, São Francisco de Assis e Unistalda (Tabela 5).

A área de ocorrência dos areais (Figura 2) tem como substrato o arenito da Formação Botucatu. Sobre esta formação Mesozóica, assentam-se depósitos arenosos não consolidados, originários de deposição hídrica e eólica durante o Pleistoceno e o Holoceno. São nestes depósitos que se originam os areais. A formação dos areais, interpretada a partir de estudos geomorfológicos, associada à dinâmica hídrica e eólica, indica que os areais resultam, inicialmente, de processos hídricos. Estes, relacionados com uma topografia

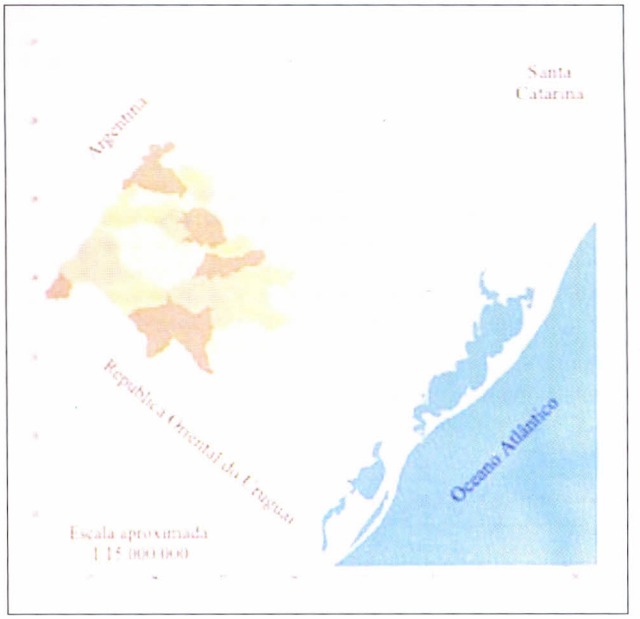

Figura 2. Área de ocorrência de areais no Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

favorável, permitem, numa primeira fase, a formação de ravinas e voçorocas. Na continuidade do processo, desenvolve-se por erosão lateral e regressiva, conseqüentemente, alargando suas bordas.

Para o conjunto da região, de acordo com o mapeamento feito com imagens de satélite, os areais representam algo em torna de 3,67km² (3.663,00ha). A esse total são acrescidos 1.600ha de áreas denominadas focos de arenização. As áreas degradadas, do ponto de vista da arenização, representam 0,26% da área total da região Sudoeste.

Por outro lado, à jusante destas ravinas e voçorocas, em decorrência dos processos de transporte de sedimentos pela água durante episódios de chuvas torrenciais, formam-se depósitos arenosos em forma de leque. Com o tempo, esses leques agrupam-se e, em

Tabela 5. Extensão e percentagem de ocorrência de Areais por área Municipal na Região Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul.

Município	Área do município (km²)	Área de areais (km²)	% areais por Município
Alegrete	7.891,92	13,21	0,1675
Cacequi	2.353,52	0,14	0,0061
Itaqui	3.291,99	0,18	0,0056
Maçambará	1.668,83	4,62	0,2773
Manuel Viana	1.677,75	5,48	0,3270
Quaraí	3.255,60	2,99	0,0920
Rosário do Sul	4.404,61	1,12	0,0255
São Borja	3.525,65	2,77	0,0435
S. Fsco. De Assis	2.171,14	5,88	0,2712
Unistalda	641,47	0,24	0,0380
TOTAL	**30.872,48**	**3,67**	**0,0119**

conjunto, originam um areal. O vento que atua sobre essas areias, em todas as direções, permite a ampliação desse processo. Os areais ocorrem sobre unidades litológicas frágeis (depósitos arenosos) em áreas com baixas altitudes e declividades. São comuns nas médias colinas e nas rampas de contato com escarpas de morros testemunhos. Sobre outro aspecto, a formação de ravinas e de voçorocas, processos associados à origem dos areais, podem também ser resultados do pisoteio do gado e da maquinaria pesada na atividade agrícola, originando sulcos e desencadeando condições de escoamento concentrado.

Salinização

O termo salinidade ou caráter salino do solo refere-se à presença de sais mais solúveis em água fria que o sulfato de cálcio (gesso), em quantidade que interfere no desenvolvimento da maioria dos vegetais, que se expressa em uma condutividade do solo em alguma época do ano entre 4 e 7dS/m (acima deste valor, considera-se como sálico - adaptado de Embrapa Solos, 1999). Esta característica pode-se ser natural, como resultado dos fatores de formação e dos processos de gênese dos solos, como por exemplo, os solos salinos que se observam ao longo da costa brasileira e aluviões e várzeas do Nordeste, ou oriunda da ação antrópica, como resultado das práticas de drenagem e irrigação de solos localizados em condições ambientais que propiciem o acumulo de sais no solo (climas áridos e semi-áridos e/ou drenagem do solo deficiente).

Em termos agrícolas, a salinidade se refere à existência de níveis de sais no solo que possam prejudicar de maneira economicamente significativa, o rendimento das plantas cultivadas. A tolerância ou sensibilidade das plantas à presença de sais no solo é uma característica genética própria de cada tipo de planta, que determina que umas tolerem concentrações elevadas como a cevada e o algodão, enquanto outras, como o feijão e a cenoura, sejam bastante sensíveis, mesmo a baixos teores. Esta característica das culturas e vegetais de forma geral, esta associada à limitação que a salinidade impõe ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, restringindo seu crescimento e absorção de água, face ao elevado potencial osmótico do meio (seca fisiológica) e ao desbalanceamento geral entre os nutrientes assimilados pelas plantas, especialmente quando o sódio está presente.

Assim o processo de salinização do solo pode ocorrer, de uma maneira geral, em solos situados em regiões de baixas precipitações pluviais, alto déficit hídrico e que tenham deficiências naturais de drenagem interna. No Brasil, levando-se em consideração tão somente as precipitações pluviais e a distribuição destas ao longo do ano, pode-se separar regiões em: Semi-áridas - com período de seca igual ou superior a 6 meses por ano e precipitações médias anuais menores que 800mm; nesta classe situa-se 50% da área do Nordeste brasileiro. Semi úmidas - período de 4 a 5 meses por ano. Úmidas - período de 1 a 3 meses por ano. Muito úmida - sem seca. Quanto menor o valor das precipitações médias anuais de uma região e maior a evapotranspiração potencial, maior é a possibilidade de salinização de seus solos quando irrigados, pois como resultado do maior déficit hídrico, menor é a possibilidade da lixiviação dos sais para horizontes mais profundos do solo.

Nestas condições, a prática da agricultura irrigada é considerada como uma das principais causas da salinização dos solos. Assim, ao se irrigar e cultivar o solo, os sais presentes na água de irrigação e adubos podem se acumular nos horizontes superficiais, especialmente naqueles com drenagem interna deficiente ou nula, podendo se tornar salinos caso não sejam drenados artificialmente ou mesmo desérticos nos casos mais graves. O acúmulo progressivo de sais no solo, ao exceder a capacidade natural das argilas em adsorver sais (CTC - Capacidade de Troca Catiônica), promovem a dispersão destas argilas, um processo eletroquímico que leva a perda progressiva da drenagem natural dos solos, que retroalimenta o processo de salinização.

Esta é uma situação que, em maior ou menor grau, vem atualmente ocorrendo nas regiões semi-áridas do Nordeste brasileiro, o que resultou numa recente parceria entre a Codevasf - Companhia de Desenvolvimento do Vale do Rio São Francisco e Parnaíba e a Embrapa Solos, visando o desenvolvimento do Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação, como forma de estabelecer parâmetros para a irrigação e drenagem mais apropriadas para os solos brasileiros.

Estima-se que no Brasil, os solos com problemas de salinidade sejam da ordem de 2% do território nacional (Embrapa Solos - Mapa de Solos do Brasil), sendo sua localização geográfica esquematicamente apresentada na Figura 3. A correção e/ou recuperação destas terras é tecnicamente possível através de práticas como a drenagem subterrânea, uso de condicionadores químicos (p.e. gesso) e aplicação de elevada quantidade de água para a retirada do excesso de sais do perfil do solo. Porém os altos custos financeiros associados e a disponibilidade de terras para uso agrícola no País, praticamente inviabilizam a recuperação destas terras.

Para o diagnostico e monitoramento da salinização, os solos são classificados quanto à salinidade em função da Condutividade Elétrica do extrato da

saturação (CE), da percentagem de sódio trocável (PST) e do pH (Tabela 6).

As Tabelas de 7 a 13, apresentadas a seguir, descrevem as áreas atingidas por processos de salinização nos diversos Estados da região Nordeste, evidenciando os principais perímetros que praticam a agricultura irrigada. Na Tabela 8, ao final, tem-se um quadro resumo da situação da salinização natural dos solos em cada um dos Estados da região Nordeste, nos diferentes tipos de solos.

Com relação à bacia do rio São Francisco em sua porção semi-árida, localizada nas regiões do Médio, Sub-Médio e parte do Baixo, apresenta risco de salinização, em graus variando de muito alto a médio. No Alto, o risco de salinização vai de nulo a baixo, em razão dos solos serem mais profundos, bem drenados e a precipitação pluviométrica ser mais elevada.

A prevenção da degradação do solo, de modo geral, está relacionada com: práticas conservacionistas, menor movimentação possível do solo nas condições adequadas de umidade, de uso de equipamentos agrícolas leves, de sistemas de irrigação apropriado à natureza do solo, de doses e de freqüências de irrigação, águas de baixo teor salino, pousio, uso de plantas

Tabela 6. Classificação dos solos quanto a salinidade.

Solo	CE (mmhos/cm)	PST (%)	pH
Normal	< 4	< 13	< 8,5
Salino	> 4	< 13	< 8,5
Sódico	< 4	> 13	> = 8,5
Salino/Sódio	> 4	> 13	< 8,5

Fonte: Oliveira (1997).

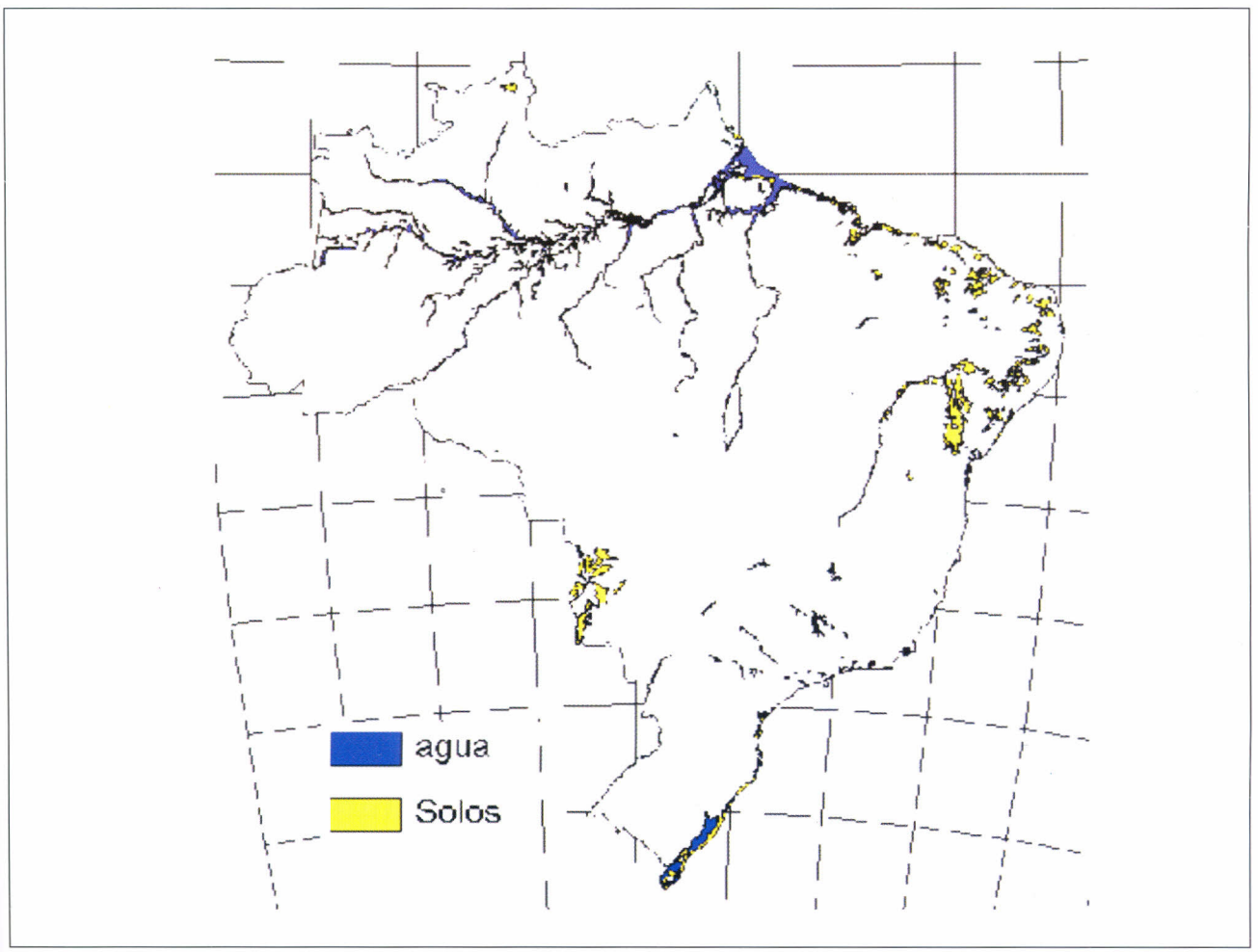

Figura 3. Localização esquemática dos solos com problemas de salinidade no Brasil.
Fonte: Embrapa Solos - http://www.cnps.embrapa.br/pesquisa/temas/temas.html.

O mapa evidencia, também, a delimitação da região Nordeste incluindo a parte semi-árida do Estado de Minas Gerais e os principais cursos d'água da região.

Tabela 7. Dados referentes às áreas salinizadas do Piauí.

Local	Município	Latitude	Longitude	Salinizada	Com tendência à salinização
Perímetro irrigado de Lagoas do Piauí	Luzilândia	Entre 3° 37' e 3° 26'S	Entre 42° 37'e 42° 10'W	45	15
Perímetro irrigado do Caldeirão	Piripiri	Entre 4° 14'e 4° 17'S	Entre 41° 47'e 42° 9'W	61	67
Perímetro irrigado Fidalgo	Simplício Mendes	7° 51'S	41° 54'W	25	-
Total				131	82

Fonte: Relatório do DNOCS, 1999.

Tabela 8. Áreas salinizadas nos perímetros irrigados do Ceará (2ª DR/CE).

Local	Área salinizada (ha)	% da área total
Morada Nova	274	7,6
Quixadinha	3	2,7
Ico/Lima Campos	122	4,5
Curu-Paraipaba	—	—
Curu-recuperação	66	6,2
Várzea de boi	30	9,2
Forquilha	20	9,2
Ayres de Souza	32	5,2
Jaguaruana	15	7,5
Ema	2	4,8

Fonte: DNOCS (1991). Situação de 30/04/1991.

Tabela 9. Áreas salinizadas nos perímetros irrigados do Rio Grande do Norte

Local	Área salinizada (ha)	% da área total
Cruzeta	9	6,5
Itans-Sabugi	25	5,1
Pau dos ferros (2)	27	4,6

Fonte: DNOCS (1991). Situação de 30/04/1991

Tabela 10. Áreas salinizadas nos perímetros irrigados da Paraíba

Local	Área salinizada (ha)	% da área total
Sumé	82	30,1
Eng. Arcoverde	22	7,8
São Gonçalo	523	22,0

Fonte: DNOCS (1991). Situação de 30/04/1991

TABELA 11. Áreas salinizadas nos perímetros irrigados de Pernambuco

Local	Área salinizada (ha)	% da área total
Boa Vista	2	2,3
Custódia	22	8,4
Moxotó	328	8,2
Cahoeira II	19	7,9

Fonte: DNOCS (1991). Situação de 30/04/1991

Tabela 12. Áreas salinizadas nos perímetros irrigados da Bahia

Local	Área salinizada (ha)	% da área total
Vaza Barris	309	29,4
Jacurici	30	23,1
Brumado	—	—

Fonte: DNOCS (1991). Situação de 30/04/1991

Tabela 13. Áreas de solos (em km²) afetados por salinização nos estados do Nordeste.

Solos	Estados							
	CE	RN	PB	PE	AL	SE	BA	Total
Planossolo Nátrico	12.708	3.690	944	5.165	3.370	2.098	30.516	58.491
Planossolo Nátrico Sálicos	8.436	4.064	2.769	2.654	393	1.013	5.161	24.490
Planossolo Háplico Sálico	450	837	-	-	-	-	-	1.287
Planossolo Hidromórfico Sálico	18	-	-	-	-	-	-	18
Outros	1.645	-	-	-	-	-	-	1.645
Total	23.257	8.951	3.713	7.819	3.763	3.111	35.677	85.931
%	27	10	4,3	9,1	4,4	3,6	41,5	100

Fonte: Adaptado de Pereira (1983)

de cobertura, como leguminosas, e rotação de culturas. Do ponto de vista de alternativas químicas para recuperação de solos degradados por salinização, assinala-se o uso do gesso, assim como o enxofre elementar, ambos têm-se mostrado bons corretivos para remoção de sais. Contudo, as práticas mais comuns de recuperação estão além das condições financeiras da maioria dos agricultores. Por isso, plantas halófitas, tolerantes a sais em excesso na solução do solo, como do gênero *Atriplex* - representam uma alternativa potencial para o aumento da produção agrícola e para melhoramento do solo, além da possibilidade de utilização como forragem de alta qualidade pelo seu alto valor protéico e produção de lenha e carvão.

Descaracterização de Áreas Úmidas

As áreas úmidas no Brasil somam cerca de 44,7 milhões de ha e ocupam cerca de 5% do território. Também conhecidos como *solos de várzeas*, são constituídos principalmente pelas classes dos Organossolos, Gleissolos, Planossolos e Neossolos.

Esses solos, quando drenados e/ou cultivados, estão sujeitos a mudanças significativas em seus atributos, especialmente os sulfatados e os mais ricos em matéria orgânica. O uso intensivo e inadequado (com drenagem excessiva, por exemplo) ocasiona alterações quantitativas e qualitativas expressivas na sua matéria orgânica, decorrentes do processo de oxidação, com efeito significativo nas propriedades físicas, químicas e morfológicas, além da produtividade agrícola.

Embora não se disponha de dados oficiais, estima-se que a descaracterização desses solos seja expressiva em todas as regiões do País, como decorrência principalmente da drenagem para diversos fins, e em menor proporção da sedimentação resultante de processos erosivos das terras altas. Um exemplo deste último processo é o que atualmente se observa na planície do Pantanal Mato-Grossense, onde a erosão das terras altas está provocando um processo de sedimentação adicional nas terras baixas do Pantanal.

Obras de macro-drenagem e retificação de rios para fins de saneamento, como as realizadas nas décadas 60 e 70, especialmente na Zona Litorânea do País, descaracterizaram, por exemplo, os solos originalmente classificados como Organossolos e Gleissolos em Estados como o do Rio de Janeiro e Espírito Santo. Estas obras causaram ainda aumento da salinidade ou acidificação extrema de solos Sulfatados Ácidos em diversos Estados, com impactos ainda hoje negativos para os recursos hídricos e a ictiofauna.

Da mesma forma, o PROVÁRZEAS - Programa Nacional de Aproveitamento Racional de Várzeas Irrigáveis, que possibilitou a drenagem, sistematização e aproveitamento agrícola de aproximadamente um milhão de hectares na década de 80, também contribui para a descaracterização de solos de áreas úmidas, ao possibilitar, através da drenagem agrícola, maior oxidação da matéria orgânica presente originalmente nos solos, bem como ao alterar seu regime hídrico. Ressalta-se que a maior ou menor degradação destes solos, foi e ainda é dependente da forma de uso, sendo o menor impacto observado quando os solos foram utilizados para a produção de arroz inundado (rizicultura) e maior quando foram utilizados para cultura que requerem maior oxigenação dos solos.

Queimadas

As queimadas ocorrem em todo território nacional, em cultivo itinerante praticado por indígenas e por agricultores familiares, ou em sistemas de produção altamente intensificados, como a cana de açúcar e o algodão, gerando impactos ambientais em escala local e regional. Elas são utilizadas em limpeza de áreas, preparação de colheita, renovação de pastagens, queima de resíduos, para eliminar pragas e doenças, como técnica de caça etc. Existem muitos tipos de queimadas, movidas por interesses distintos, em sistemas de produção e geografias diferentes. O fogo afeta diretamente as características físico-químicas (perda por volatilização de N e S) e biológicas dos solos, deteriora a qualidade do ar, reduz a biodiversidade e prejudica a saúde humana e acelera indiretamente os processos erosivos, ao diminuir a cobertura vegetal do solo, no início do período chuvoso.

Ao sair de controle, atinge o patrimônio público e privado (florestas, cercas, linhas de transmissão e de telefonia, construções etc.). As queimadas também alteram a química da atmosfera e influem negativamente nas mudanças globais. O impacto desta prática tem sido particularmente criticado e dimensionado na Amazônia, onde atinge proporções dramáticas (Diaz et al. 2002).

Em termos de redução do potencial produtivo das terras, estudos realizados na Amazônia Oriental, em vegetações secundárias de 7 e 40 anos em pousio (capoeiras), apontam que as perdas que ocorrem em áreas preparadas pela queima (incluindo as por volatilização, lixiviação e transporte de partículas) variaram entre 94-98% de C, 93-98% de N, 30-47% de P, 30-48% de Na, 42-50% de K, 13-35% de Ca, 21-43% de Mg e 66-76% de S (Mackensen et al. 1996; Hölscher 1997). Para evitar a continuidade deste quadro e planejar cenários mais sustentáveis, em especial, à agricultura familiar da Amazônia, várias iniciativas de produtores e da pesquisa vêm convergindo para técnicas de preparo de área sem queima, substituindo o uso do fogo pelo

corte e trituração da vegetação secundária (Denich et al. 2001).

Mesmo sem incluir mensurações de todas as perdas, inclusive as de origem biológica e a perda do potencial produtivo das terras, estimativas realizadas pelo IPEA e IPAM, em Motta *et alii* (2001), ilustram de uma forma bastante objetiva dos efeitos negativos das queimadas. As Tabelas 14 e 15 resumem as estimativas dos danos para os anos de 1996 e 1998, considerados, por questões climáticas, como de intensidade regular e intensa de queimadas, respectivamente.

Tabela 14. Danos Físicos do Uso do Fogo na Amazônia

Tipo de dano	1996	1998
Propriedade		
Pastagem (km^2)	6.510	19.408
Floresta primária (km^2)	7.250	21.614
Dano à benfeitoria (km)	19.768	58.931
Carbono		
Floresta primária (t/C)	88.162.999	265.510.230
Saúde		
Morbidade (internações)	4.319	12.875

Fonte: Adaptado de Motta *et alii* (2002).

Tabela 15. Danos Econômicos do Uso do Fogo na Amazônia

Tipo de dano	Dano monetário (1998 US$ 10^6)	% do PIB da região
Propriedade		
1996	216	0.41
1998	594	1.04
Carbono[1]		
1996	309	0.59
1998	929	1.62
Saúde[2]		
1996	3	0.01
1998	10	0.02
Total 1996	528	1.01
Total 1998	1.533	2.67

[1]Perda líquida de Carbono da Floresta Nativa, estimada como estique de carbono e valorada ao preço mínimo de US$ 3/tC dos modelos que simulam os mercados de carbono do Protocolo de Kyoto.
[2]Estimativa baseada na correlação entre área queimada e incidência de doenças respiratórias na região e valoradas pelos custos de internações hospitalares anuais decorrentes e verificados na região nos anos de 1996 e 1998 de cerca de US$ 3 milhões a US$ 10 milhões.
Fonte: Adaptado de Motta *et alii* (2002).

As estimativas dos danos físicos, apresentadas nas Tabela 6, mostram que nestes anos foram perdidos em média, respectivamente, 6.500 a 19.000km^2 de áreas de pastagem, além de 20 mil a 60 mil km de cercas. Os custos de recuperação destes danos representam um prejuízo aos fazendeiros locais de cerca de US$ 216 milhões em 1996 e US$ 594 milhões em 1998, que equivalem a 0,4% e 1% do PIB da Amazônia.

Mudança do Fluxo de Gases Associados ao Efeito Estufa

Os gases associados ao efeito estufa que vêm sendo mais avaliados em associação a mudanças no uso do solo são o metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), dióxido de carbono (CO_2) e óxido nítrico (NO).

A despeito da idéia de que os solos de florestas tropicais são em geral considerados sumidouros naturais para o metano, e que a derrubada desta vegetação significa a eliminação deste sumidouro e a criação de uma fonte de semelhante magnitude (Fearnside, 2001), estudos em andamento na Amazônia vêm demonstrando que o manejo florestal e a conversão de florestas primárias em outros sistemas de uso da terra podem levar a situações diversas quanto à variação estacional no fluxo de metano através do solo.

Em explorações florestais seletivas, como os relatados por M. Keller (informação pessoal) em Santarém, observa-se na estação chuvosa, valores expressivamente elevados de fluxo de metano nos parques de estocagem (atingindo 800mg de CH_4 $m^{-2}dia^{-1}$), seguidos de valores de 30mg de CH_4 $m^{-2}dia^{-1}$ nas estradas abertas por *skids*, contrastando com valores inferiores a 5mg de CH_4 $m^{-2}dia^{-1}$ em solos de clareiras ou sob florestas primárias não manejadas, sendo entretanto, as diferenças menos marcantes no período seco. Já os valores obtidos em pastagens abandonadas na Amazônia Oriental, evidenciam que essas atuam como sumidouros de metano, consumindo cerca de 50% mais que florestas primárias (Verchot et al. 2000).

Em sistemas agroflorestais simultâneos na Amazônia Central, Rondon et al. (2001) evidenciam que na estação seca predomina a oxidação do metano atmosférico, e à medida que avança a estação chuvosa, o solo vai perdendo a sua capacidade de atuar como sumidouro deste gás, tornando-se uma fonte dele. Nestas mesmas condições, sistemas silvipastoris e pastagens adubadas são em geral, baixos sumidouros e fontes elevadas de emissão de metano. Já em sistemas agroflorestais seqüenciais na Amazônia Oriental, observa-se que o solo, sob vegetação secundária, atua como sumidouro de metano, quando previamente submetido a diferentes tratamentos de melhoria de capoeira via plantio de leguminosas arbóreas e a um período de cultivo (Oliveira 2001).

Nos cerrados, tem sido evidenciada a tendência de fluxos negativos de metano, ou seja, oxidação de metano pelo solo, em áreas de pastagem, cultivo em rotação soja/milho e vegetação nativa, sob diferentes condições de umidade do solo (Cardoso et al. 1995). Esta tendência pode, contudo, ser alterada em áreas degradadas, onde a porosidade do solo é significativamente modificada. Comparando-se dados preliminares obtidos em situações de floresta em clima temperado aos

valores obtidos na região dos cerrados, Lauren et al. (1996) obtiveram taxas de oxidação de metano significativamente maiores em savanas brasileiras, chegando a acumular 5 vezes mais metano oxidado do que na floresta temperada. Dada a magnitude do efeito oxidativo indicado por esses dados, maior atenção deve ser dada ao uso dos solos sob cerrado e sob outros tipos de savana no contexto das estimativas globais.

Os resultados obtidos por Luizão et al. (1989) indicam que a mudança no uso do solo de floresta tropical para pastagem, na Amazônia Ocidental, triplicou a emissão de N_2O, levantando a hipótese de que a conversão de áreas de florestas em pastagens nos trópicos pode ser responsável, pelo menos em parte, pelo aumento de N_2O na atmosfera. Os poucos estudos abordando fluxo de óxido nitroso em sistemas agroflorestais na Amazônia indicam que os solos destes são menores sumidouros do que os sistemas agrícolas de alto e de baixo uso de insumos, e que nas condições da Amazônia Peruana, valores ainda menores foram encontrados em vegetações secundárias em pousio (Verchot et al., no prelo). Na Amazônia Oriental, verifica-se em sistemas agroflorestais seqüenciais, que na fase de vegetação secundária crescendo em áreas previamente submetidas a diferentes tratamentos de melhoria da capoeira e a um período de cultivo, o solo atua predominantemente como fonte de N_2O (Oliveira, 2001).

Em condições de cerrados, os fluxos de óxido nitroso em áreas convertidas têm indicado emissões muito baixas, chegando a ser quase nula em alguns períodos (Cardoso et al., 1995; Saminez, 1999; Pinto et al., 2000; Davidson et al. 2001), o que leva a inferir que os solos sob cerrado não se constituem em importantes fontes de óxido nitroso. Uma exceção a esta tendência ocorre em sistemas agrícolas submetidos à fertilização, onde emissões variando de 1,02 a 1,6kg de $N.ha^{-1}.ano^{-1}$ medidas por Saminez, (1999).

O efeito de mudanças no uso da terra parece ser menos evidente em relação ao óxido nítrico. Valores de 20 a 45% em relação aos encontrados em floresta primária foram relatados em pastagens e florestas secundárias em Paragominas, PA, enquanto em Rondônia, as emissões de NO por pastagem e floresta foram similares durante a época chuvosa, mas cerca de dez vezes mais baixas em pastagens, durante a época seca (Davidson et al. 2001). Nos sistemas agroflorestais seqüenciais estudados por Oliveira (2001) na Amazônia Oriental, os padrões de fluxo de NO são semelhantes aos encontrados com relação ao óxido nitroso, ou seja, ocorre uma predominância de comportamento como fonte de NO. Para as condições dos cerrados de Brasília, áreas de pastagem com cerca de 20 anos, a emissão de NO atingiu valores quase abaixo dos limites de detecção, exibindo apenas pulsos esporádicos (Davidson et al. 2001).

Referências Bibliográficas

ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B; COSTA, T. C. C.; BURGOS, N.; OLIVEIRA, M. A. J. **Relatório do projeto de pesquisa adaptação de métodos de geo-informação para mapeamento e monitoramento das áreas em processo de desertificação do sertão do Seridó.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2001. 1 v.

CARDOSO, A. N.; DUXBURY, J.; LAUREN, J.; VARGAS, M.; MATSON, P.; SAMINEZ, T. Methane and nitrous oxide fluxes in agroecossistems of the brazilian savannas. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL BIOGEOCHEMISTRY, 12. 3-8 Sept., 1995, Rio de Janeiro-Brazil. [**Proceedings...**] Rio de Janeiro: [s.ed.], 1995. p. 131.

CORDEIRO, G. G. Salinidade em áreas irrigadas. **Item**, Brasília, n. 51, p. 34-36, 2001.

DAVIDSON, E. A .; BUSTAMANTE, M. C.; PINTO, A. de S. Emissions of nitrous oxide and nitric oxide from soils of native and exotic ecosystems of the Amazon and cerrado regions of Brazil. **The Scientific World,** v. 1, p. 312-319, 2001.

DENICH, M.; VIELHAUER, K.; SÁ, T. D. D. A.; LÜCKE,W.; VLEK, P. L. G. Alternatives to slash-and-burn agriculture: a research approach for the development of a chop-and-mulch system. In: CONFERENCE ON INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH FOR DEVELOPMENT, 2001, Oct. 9-11, Bonn, GE. **One World**: research for a better quality of life. Bonn, Germany: [s.ed.], 2001. p. 1-8

DIAZ, M. del C. V.; NEPSTAD, D.; MENDONÇA, M. J. C.; MOTTA, R. S. da; ALENCAR, A .; GOMES, J. C.; ORTIZ, R. A. **O preço oculto do fogo na Amazônia:** os custos econômicos associados às queimadas e incêndios florestais. Belém, PA: IPAM-IPEA-WHRC, 2002. 43 p.

DNOCS. **Levantamento das áreas salinizadas do Estado do Piauí.** Teresina: DNOCS,1999. 20 p.

Embrapa Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: Embrapa. SPI, 1999. 412 p.

FEARNSIDE, P. M. Emissões de gases de efeito estufa oriundas da mudança do uso da terra na Amazônia brasileira. In: REUNIÃO ESPECIAL DA SBPC: Amazônia no Brasil e no Mundo, 7. Manaus, AM, 25 - 27 abril 2001. **Anais...** Manaus, AM, 2001. CD-ROM.

FERREIRA, D. G.; RODRIGUES, V.; PEREIRA, J.; LIMA, M. G. A desertificação no Nordeste do Brasil II: diagnóstico e perspectiva. In: CONFERÊNCIA NACIONAL E SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DA DESERTIFICAÇÃO, Fortaleza, CE, 1994. **Anais.....** Fortaleza, CE: Fundação Grupo Esquel Brasil, 1994. 54 p.

HOLANDA, F. S. R.; MARCIANO, C. R.; ALCEU, P.; AGUIAR, J. F. de.; SANTOS, V. P. dos. Recuperação de áreas com problemas de salinização. **Informe Agropecuário,** Belo Horizonte, v. 22, n. 210, p. 57-61, 2001.

HÖLSCHER, D. Shifting cultivation in eastern Amazônia: a case study on the water and nutrient balance. **Plant Research and Development**, v.46, p. 68-89, 1997.

LAUREN, J.; CARDOSO, A. N.; DUXBURY, J.; VARGAS, M.; AYARSA, M.; MATSON, P. Effects of agricultural development on methane uptake by soils: A temperate - tropical comparison. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA ANNUAL MEETING, 1995, St. Louis, Missouri. **Annual Meeting Abstracts**. Saint Louis: [s.ed.], 1995. p. 237.

LAUREN, J.; CARDOSO, A. N.; DUXBURY, J.; VARGAS, M.; AYARSA, M.; MATSON, P. Effects of agricultural development on methane uptake by soils: A temperate - tropical comparison. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA ANNUAL MEETING, 1995, St. Louis, Missouri. **Annual Meeting Abstracts.** Saint Louis: [s.ed.], 1995. p. 237.

LUIZÃO, F.; MATSON, P.; LIVINGSTON, G; LUIZÃO, R.; VITOUSE, K. P. Nitrous oxide flux following tropical land clearing. **Global Biogeochemical Cicles**, v. 3, n. 3, p. 281-285, 1989.

MACKENSEN, J.; HÖLSCHER, D.; KLINGE, D.; FÖLSTER, H. Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management,** v. 86, p. 121-128, 1996.

MOTTA, R. S.: MENDONÇA, M. J. C.; NESPSTAD, D.; DIAZ, M. Del C. V.; ALENCAR, A.; GOMES, J. C.; ORTIZ, R. A. **O Custo do uso do fogo na Amazônia.** Rio de Janeiro: IPEA/IPAM, 2001. (Texto para Discussão, n. 912).

OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEY, H. G.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada.** Campina Grande: UFPB, 1997.

OLIVEIRA,V. C. de. Emissions of trace gases from capoeiras enriched with leguminous trees in the Northeastern Amazon - Brazil. **2001. 1 v. MSc thesis, Faculty of Forest Science, Göttingen.**

PEREIRA, J.; COBRE, R. V. **Fertilização correção da acidez e da salinidade dos solos: recomendação para os perímetros irrigados do Alto e Médio São Francisco.** Brasília: FAO, 1990. 125 p. (FAO. Boletim Técnico, 1).

RICHÉ, G. R.; SÁ, I. B.; FOTIUS, G. A. Zoneamento das áreas em processo de degradação ambiental no trópico semi-árido do Brasil. Brasília-DF, PROJETO ARIDAS, Secretaria do Planejamento da Presidência da República, SEPLAN, PR. 1994. GTI - Recursos Naturais e Meio Ambiente, Vol. 1.2 - Condições do uso e perspectiva de uso sustentável dos geoambientes do Semi-Árido.

RODRIGUES, V. **Pesquisa dos estudos e dados existentes sobre desertificação no Brasil.** Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Combate à Desertificação. Projeto BRA 93/036. 1997. 65 p.

RONDÓN, M. A .; FERNANDES, E. C. M.; SILVA, R. L. da. Fluxes of methane from soils in the Central Amazon: the role of agroforestry systems. **Abstracts** of ANNUAL MEETING ASA, 2001.

SÁ, I. B.; FORTIUS, G. A.; RICHÉ, G. R. Degradação ambiental e reabilitação no trópico semi-árido brasileiro. In: CONFERÊNCIA NACIONAL E SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DA DESERTIFICAÇÃO, Fortaleza, CE, 1994. **Anais.....** Fortaleza, CE: Fundação Grupo Esquel Brasil, 1994.

SAMINÊZ, T. C. O. **Efeito do sistema de cultivo, tensão de água, biomassa microbiana e temperatura do solo nos fluxos de CH_4 e N_2O em solos de Cerrados.** 1999. 99 p. Tese de Mestrado, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília.

SILVA, F. B. R. e; RICHÉ, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C. de; BRITO, L. T. de; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA. F. H. B. B. da; SILVA, A. B. da; ARAÚJO FILHO, J. C. de; LEITE, A. P. **Zoneamento agroecológico do Nordeste:** diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. Petrolina: EMBRAPA/CPATSA; Rio de Janeiro: CNPS, 1993. 2 v. (Convênio EMBRAPA-CPATSA/ ORSTON-CIRAD. Documentos, 80).

UNITED NATIONS. **Text of the United Nations Convention to combat desertification.** Disponível em: www.unccd.int/convention/text/convention.php. Acessado em: 25 Set. 2001.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Processos de desertificação ocorrentes no Nordeste do Brasil**: sua gênese e sua contenção. Recife: SUDENE, 1983. 101 p.

VERCHOT, L. V.; DAVIDSON, E. A .; CATTÂNIO, J. H.; ACKERMAN, I. L. Land-use change and biogeochemical controls of methane fluxes in soils of eastern Amazonia. **Ecosystems,** v. 3, p. 41-56, 2000.