

ANÁLISE DO MEIO FÍSICO PARA AVALIAÇÃO DAS LIMITAÇÕES AMBIENTAIS

Mauro Resende¹

Derli P. Santana; Antônio F.C. Bahia Filho & Luiz Marcelo A. Sans²

RESUMO

Embora semelhantes do ponto de vista macroclimático, ecossistemas contíguos podem apresentar profundas diferenças no aspecto microclimático, bem como na disponibilidade de água e nutrientes dos solos. A natureza multivariada desta relação, envolvendo componentes de clima, de solo e vegetação, faz com que as análises para estratificação ambiental reúnam um número relativamente grande de informações que nem sempre estão sistematizadas. Por outro lado, o caráter interativo das relações existentes torna o processo complexo, demandando uma abordagem abrangente do problema. Neste trabalho, são analisados fatores de estratificação de ambientes em termos de radiação, disponibilidade de água e nutrientes e de alguns fatores coadjuvantes. Em virtude de a grande maioria dos critérios utilizados para estratificação de ambientes serem de uso corrente nos estudos de mapeamentos de solos, sugere-se a classe de solo como elemento estratificador de ambientes.

¹ Professor da Universidade Federal de Viçosa-UFV. CEP 36570 Viçosa, MG, Brasil.

² Pesquisador da EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Caixa Postal 151. CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG, Brasil.

ENVIRONMENTAL ANALYSIS FOR STRESS IDENTIFICATION

*Mauro Resende*¹

*Derli P. Santana; Antônio F.C. Bahia Filho & Luiz Marcelo A. Sans*²

ABSTRACT

Even though similar from the macro-climate point of view, sequential ecosystems may present extraordinary differences, from the micro-climate aspects, as well as in terms of soil, water and nutrient availability. The environmental stratification analysis requires a bulk of information scarcely available, due to the multivariated aspect of the relationship involving climate, soil and vegetative parameters. On the other hand, a global approach to the problem is necessary, considering the interactive relationships and their complexity. Environmental stratification factors, as radiation, soil water and nutrient availability, among others, are analyzed in this work. Soil class is suggested as the environmental stratification parameter.

¹ Professor da Universidade Federal de Viçosa-UFV. CEP 36570 Viçosa, MG, Brasil.

² Pesquisador da EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Caixa Postal 151. CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG, Brasil.

INTRODUÇÃO

Desde épocas imemoriáveis, o homem tem avaliado o meio físico para seu uso, principalmente para fins agrícolas. Os homens enviados por Moisés para avaliarem a terra de Canaã relataram haver encontrado uma terra abundante em leite e mel. Aparentemente, eles consideraram que a terra era bem adaptada para o tipo de uso que eles tinham em mente: criação de camelos nas planícies semi-áridas e exploração dos doces frutos das palmeiras nos oásis (Beek, 1981). Em outras palavras, eles analisaram as ofertas ambientais em termos de adequação ao uso que tinham em mente.

Em qualquer análise do meio físico, é necessário selecionar critérios que permitam avaliar características ambientais importantes para o tema focado. No caso presente, o interesse é uma análise das demandas necessárias ao desenvolvimento da cultura do milho para se fazer um balanço com as ofertas ambientais em termos de recursos. E, ao se proceder a essa análise, verifica-se que a planta capta radiação solar (R) e necessita de água (A) e nutrientes (N) para manter o seu crescimento. Este conjunto de fatores constitui o trio ambiental básico (Figura 1).

A radiação vai depender da latitude, altitude, exposição, cobertura vegetal, nebulosidade, umidade e poluição atmosférica. A água e nutrientes vão depender de outros conjuntos de variáveis. É importante registrar que, mesmo essas variáveis (fatores indiretos), serão relacionadas, para explicar cada um dos fatores diretos (R, A, N). O fator direto é sempre importante. Os indiretos têm importância variável, conforme o local, na determinação das qualidades do ambiente (fatores diretos).

Os outros aspectos do ambiente são essencialmente coadjuvantes de R, A e N. Entre esses estão temperatura, oxigênio no solo, gás carbônico, vento etc.



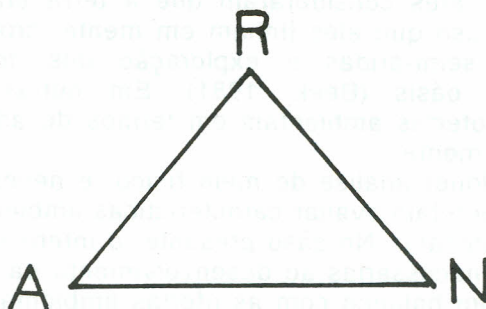


FIGURA 1. Trio ambiental básico formado por radiação (R), água (A) e nutrientes (N).

As características ecológicas (fatores diretos e os fatores indiretos) que determinam essas qualidades ambientais, estão listadas na Tabela 1. Serão discutidos, a seguir, cada um dos componentes do triângulo ambiental, bem como suas possíveis interações.

RADIAÇÃO

O rendimento ou produtividade (Y) de uma cultura depende basicamente do ambiente (A), do material genético (G) e do manejo (M).

$$Y = f(A, G, M)$$

$$(Eq.1)$$

TABELA 1. Qualidades ecológicas do ambiente agrícola e fatores determinantes.

Qualidade do ambiente quanto a fatores diretos	Fatores determinantes dessas qualidades (indiretos)
Abióticos	
R - Radiação solar	Latitude, altitude, exposição, cobertura vegetal, nebulosidade, umidade atmosférica, relevo, poluição atmosférica.
A - Água	Precipitação, evapotranspiração, solo, escoamento, superficial, drenagem, infiltração, lateral, substrato geológico, planta.
T - Temperatura	Latitude, altitude, exposição e constituição do solo
O - Oxigênio	Drenagem e permeabilidade do solo
C - Gás carbônico	Organismos, latitude, altitude, relevo, atividade industrial.
V - Vento	Exposição, latitude, altitude, relevo, continentalidade, época do ano.
N - Nutrientes	Solo, vegetação, clima
Agrícolas	
E - Susceptibilidade à erosão	Precipitação, solo (inclui relevo), cobertura.
M - Impedimento à mecanização	Relevo, textura, pedregosidade, drenagem, tipo de argila.
Bióticos	
P - Pragas	
D - Doenças	
H - Homem	

¹A competição entre organismos pelas qualidades mencionadas ou as interações entre organismos, como simbiose, polinização, alelopatia etc., num nível mais complexo de interações, podem ser consideradas como aspectos do funcionamento do ecossistema.

Fonte: Adaptado de Pinto & Resende, (1985).

As maiores produtividades da cultura do milho são sempre menores no Brasil do que em algumas regiões de latitudes maiores. Isso acontece independentemente do manejo e do material genético, sendo, portanto, ligado ao ambiente. A única diferença consistente entre essas regiões tem sido a referente à radiação (R).

A radiação, ao nível do ecossistema agrícola, depende da latitude, exposição, nebulosidade e aspectos ligados à área foliar e arranjo e arquitetura das plantas. O aproveitamento da energia solar depende do ciclo da cultura e a produtividade depende do índice de colheita (H).

Essas informações e mais alguns elementos de acerto servem para ajustar modelos de predição do rendimento potencial. Dentre os modelos mais simples de predição do rendimento potencial, o que tem se mostrado bastante eficiente é o de Kassam (1977, 1978) e Doorenbos & Kassam (1979), que desenvolveram a seguinte relação:

$$Y_{mp} = 0,36.L.H.[F \alpha Y_o + (1 - F)\beta Y_c]/(1/G + 0,25c) \quad (\text{Eq.2})$$

onde:

Y_{mp} = rendimento potencial

L = correção para índice de área foliar (LAI);

$L = 1 - 0,0761(5 - \text{LAI})^{1,6}$ (Higgins, 1978)

H = índice de colheita; porção utilizável da planta (Doorenbos & Kassam 1979)

F = fator relacionado com a fração de tempo do dia que está nublado;

$F = (R_{se} - 0,5R_g)/0,8 R_{se}$; R_{se} = radiação fotossinteticamente ativa (PAR) pode ser estimada pela expressão:

$R_{se} = 0,3976 R_o^{1,0074}$ ($r^2=0,99$). R_g = radiação de onda curta recebida na superfície de ecossistema. Simplificadamente:

$F = [1,25 + (0,858 - 0,7872 n/N)R_o]/(1 + R_o)$

Y_o = taxa de produção bruta de matéria seca num dia completamente nublado (Kg/ha/dia);

Y_c = idem a Y_o , mas num dia sem nuvens;

$Y_c = 37,0199 R_o^{0,6798}$ ($r^2=0,99$)

α e β = fatores de correção para, respectivamente, Y_o e Y_c .

Os valores de α e β dependem também da taxa de produção máxima de matéria seca foliar de um cultivo, para um dado clima (Y_m).

TABELA 2. Taxas de produção (Y_m , em kg/ha/hora) por grupos de cultivos e temperaturas médias (Doorenbos e Kassam, 1979).

Grupo de Cultivo	Temperatura média, °C								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
I Frio	5	15	20	20	16	5	0	0	0
I Quente	0	0	15	32,5	35	35	32,5	5	0
II Frio	0	5	45	65	65	65	45	5	0
II Quente	0	0	5	45	65	65	65	45	5

I Frio: alfafa, feijão, repolho, ervilha, batata, tomate, beterraba, açucareira;

I Quente: alfafa, cítricos, algodão, amendoim, pimenta, arroz, cártamo, soja, girassol, fumo, tomate;

II Frio: algumas variedades de milho e sorgo;

II Quente: milho, sorgo, cana-de-açúcar.

Para $Y_m > 20$ kg/ha/hora

$$\alpha = 0,8 + 0,01Y_m \text{ e } \beta = 0,5 + 0,25Y_m.$$

Para $Y_m < 20$ kg/ha/hora

$$\alpha = 0,5 + 0,025Y_m \text{ e } \beta = 0,5Y_m.$$

G = ciclo da cultura em dias; para o milho segue, aproximadamente, a expressão: $G = 407,9 - 11,6 t$ (adaptado de Doorenbos & Kassam, (1979); sendo t a temperatura média durante o ciclo

c = correção para temperatura; está relacionada com as perdas por respiração;

$$c = c_{30}(0,044 + 0,0019t + 0,001t^2);$$

$$c_{30} = 0,0283 \text{ para leguminosas};$$

$$c_{30} = 0,0108 \text{ para não leguminosas};$$

Os cálculos de produtividade potencial são feitos, geralmente, considerando uma superfície horizontal. Há, evidentemente, alterações pronunciadas na carga energética, ou radiação global,

que chega às superfícies de uma região acidentada. Sugere-se, então, o uso da fórmula de Angstrom, modificada para incluir radiação em superfícies inclinadas, e sua inserção no modelo de estimativa da produtividade potencial máxima, Ymp (Doorenbos & Kassan, 1979).

Para calcular a radiação global, Rg, numa superfície inclinada qualquer, usa-se, à semelhança da expressão de Angstrom

$$[R_g = (a + b \frac{n}{N}) R_o],$$

$$R_g = (0,25 + 0,50 \frac{n}{N}) R_{Oia}$$

onde, em vez de R_o , radiação numa superfície horizontal no topo da atmosfera, usa-se R_{Oia} = radiação numa superfície inclinada (1) com azimute (a) no topo da atmosfera (Igbal 1983).

n e N representam, respectivamente, as horas de sol real e número máximo possível de horas de sol (fotoperíodo).

Para calcular R_{Oia} (Tabela 3) são necessários:

L = latitude

D = declinação solar

a ou a_i = azimute da superfície inclinada; ângulo formado pela projeção da normal à superfície inclinada com a horizontal; positivo nas encostas voltadas para leste; negativo nas dirigidas para oeste; o ângulo é contado a partir do sul.

H_1 = horário do nascer do sol na superfície. Isso ocorre quando os raios solares são perpendiculares à normal à superfície.

H_2 = horário do pôr do sol.

E_o = fator de correção da variação da distância da Terra ao Sol, excentricidade da órbita da terra (sem dimensão).

Para encostas voltadas para norte ou sul, podem-se usar expressões mais simples. Para esses cálculos, pode-se preparar uma tabela (Tabela 2) contendo, para os meses, declives e exposições desejados: 1) a declinação (D) e número de ordem do dia (dn) (dia 15 de cada mês ou as datas oferecidas por Igbal (1983); 2) o valor de E_o pode ser encontrado em tabelas, ou obtido diretamente de equações; 3) ângulos horários H_1 e H_2 .

Para calcular H_1 e H_2 são usadas as expressões a seguir.

Se a encosta está voltada para leste (azimute, a > 0):

$$H_1 = \min \left\{ H \cos^{-1} \left[\frac{-xy - \sqrt{x^2 - y^2 - 1}}{x^2 - 1} \right] \right\}$$

$$H_2 = -\min \left\{ H \cos^{-1} \left[\frac{-xy + \sqrt{x^2 - y^2 - 1}}{x^2 + 1} \right] \right\}$$

Quando a encosta está voltada para oeste ($a < 0$):

$$H_1 = \min \left\{ H \cos^{-1} \left[\frac{-xy + \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right] \right\}$$

$$H_2 = -\min \left\{ H \cos^{-1} \left[\frac{-xy + \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right] \right\}$$

$$H = \cos^{-1}(-\operatorname{tg}L \operatorname{tg}D)$$

$$x = \frac{\cos L}{\operatorname{sen} a \operatorname{tgi}} + \frac{\operatorname{sen} L}{\operatorname{tga}}$$

$$y = \operatorname{tg}D \left(\frac{\operatorname{sen} L}{\operatorname{sen} a \operatorname{tgi}} - \frac{\cos L}{\operatorname{tga}} \right)$$

Os valores da Tabela 3 serão usados nas expressões a seguir:

$$R_g = (0,25 + 0,50 n/N) R_{oia} \quad (1)$$

$$R_{oia} = (12/\pi^*) I_{SC} E_o (\cos i \operatorname{sen} D \operatorname{sen} L (Hr_2 - Hr_1) \quad (2)$$

$$- \operatorname{sen} D \cos L \operatorname{sen} i \cos a (Hr_2 - Hr_1)$$

$$+ \cos L \cos D \cos i (\operatorname{sen} H_2 - \operatorname{sen} H_1)$$

$$+ \cos D \cos a \operatorname{sen} L \operatorname{sen} i (\operatorname{sen} H_2 - \operatorname{sen} H_1)$$

$$+ \cos D \operatorname{sen} i \operatorname{sen} ai (\cos H_2 - \cos H_1)$$

* π = pi radianos

TABELA 3. Dados preparados para calcular R_{oia} para superfície inclinada de 30° ($i = 30^{\circ}$), voltada para sudeste ($a = 45^{\circ}$), na latitude -20° .

Mês	D	dn	Eo	H1	H2	Hr2 - Hr1 ¹	senH2 - senH1	cosH2 - cosH1
Jan	-20,84	17	1,0340	97,96	-80,88	1,67	1,98	0,30
Fev	-13,32	45	1,0260	94,94	73,99	2,95	1,96	0,36
Mar	-2,40	74	1,0114	90,87	64,91	2,72	1,91	0,44
Abr	9,46	105	0,9932	89,70	55,23	2,59	1,82	0,57
Mai	18,78	135	0,9780	82,89	47,02	2,27	1,72	0,56
Jun	23,04	161	0,9694	81,10	42,87	2,16	1,67	0,58
Jul	21,11	199	0,9674	81,92	44,19	2,20	1,69	0,58
Ago	13,28	230	0,9754	85,07	51,97	2,39	1,78	0,53
Set	1,97	261	0,9902	89,28	61,37	2,63	1,88	0,47
Out	-9,84	292	1,0082	93,22	71,02	2,87	1,94	0,38
Nov	-9,02	322	1,0244	97,20	79,19	3,08	1,97	0,31
Dez	-23,12	347	1,0326	98,94	83,20	3,18	1,98	0,27

¹Hr2 - Hr1 é dado em radianos, isto é, por exemplo, $80,88/57,3 - 97,96/57,3$

Pode-se, então, estimar a radiação recebida pelas superfícies planas e inclinadas e verificar o efeito na produtividade máxima potencial (Tabela 4).

TABELA 4. Contraste entre a radiação recebida pelas superfícies planas e inclinadas (20°) voltadas para sudeste ($\alpha = 20^{\circ}$) e nordeste ($\alpha = 160^{\circ}$) e seu efeito na produtividade potencial máxima.

Fatores	Plana	Inclinada	
R_o ($MJm^{-2}d^{-1}$)	40,51	32,49	26,80
($calcm^{-2}d^{-1}$)	968	777	641
R_{se} (PAR)	396	317	261
Y_o	246	206	176
Y_c	458	395	346
R_g	486	390	322
F	0,48	0,48	0,48
Y_{mp}	9.731	8.319	7.256

$$\text{Redução de } Y_{mp} = \frac{Y_{mp} \text{ (plana)} - Y_{mp} \text{ (nordeste)}}{Y_{mp} \text{ (plana)}} = 0,25 \text{ ou } 25\%$$

ou

$$\frac{Y_{mp} \text{ (nordeste)}}{Y_{mp} \text{ (plana)}} = 0,75$$

Essa redução na produtividade não parece exagerada considerando-se o efeito pronunciado do sombreamento, em particular durante a fase reprodutiva (Early et al. 1967).

Existe uma grande variação no fluxo energético, dependendo da exposição e declive da superfície. O efeito dessa variação na produtividade é previstamente acentuado, o que pode ser visto na Figura 2.

Apesar dessa diferença acentuada na produtividade, não são muito abundantes os dados relacionando produtividade com a carga energética dada pela radiação solar nas encostas.

Os dados de radiação global de Bernincasa (1976), para declividade de 0, 10, 20, 30, 40, e 50% (0; 5,71; 11,31; 16,71; 21,8 e 26,57 graus, respectivamente), mostram que a expressão

$R_g = (0,25 + 0,5 n/N) R_{oia}$ estimou muito bem a radiação global (R_g medida = $0,7004 + 0,946 R_g$, $r^2 = 0,99$).

A variação na produtividade de sorgo (matéria seca por planta aos 68 dias) parece estar relacionada com a quantidade de radiação global (Figura 3).

Nas exposições voltadas para norte, parece haver saturação luminosa a cerca de $26 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; isso equivale a $621 \text{ calcm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ou $0,43 \text{ calcm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Este valor é muito baixo para uma planta C4, onde espera-se uma saturação luminosa a partir de cerca de $1 \text{ calcm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ou seja, cerca de $60,25 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, (Higgins 1978; segundo Eastin 1983). Entretanto, a luz e o dióxido de carbono não são os únicos fatores limitantes no processo fotossintético (Meier et al 1973); nutrientes, água etc podem limitar a taxa do processo, antes de se atingirem valores normais de saturação de luz. Portanto, no caso desse experimento, outros fatores, como temperatura do solo (Bernincasa 1976), parecem ter afetado a produtividade.

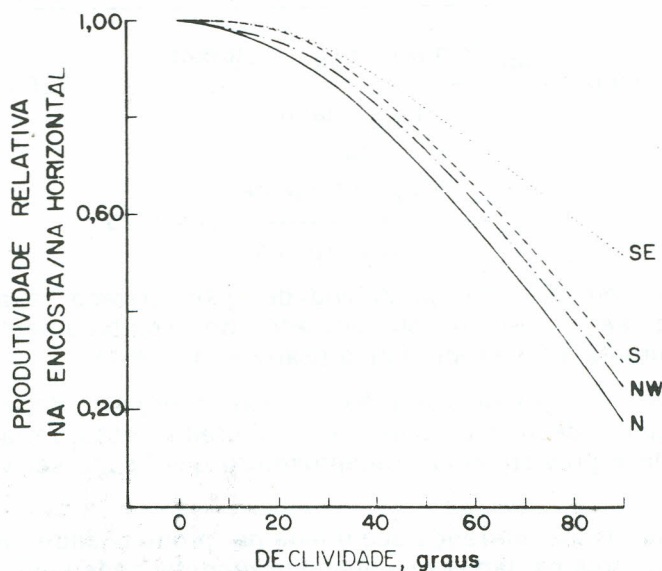


FIGURA 2. Efeito idealizado da declividade, nas exposições norte (N), sul (S), sudeste (SE) e noroeste (NW), na produtividade relativa das culturas, no período de outubro a março.

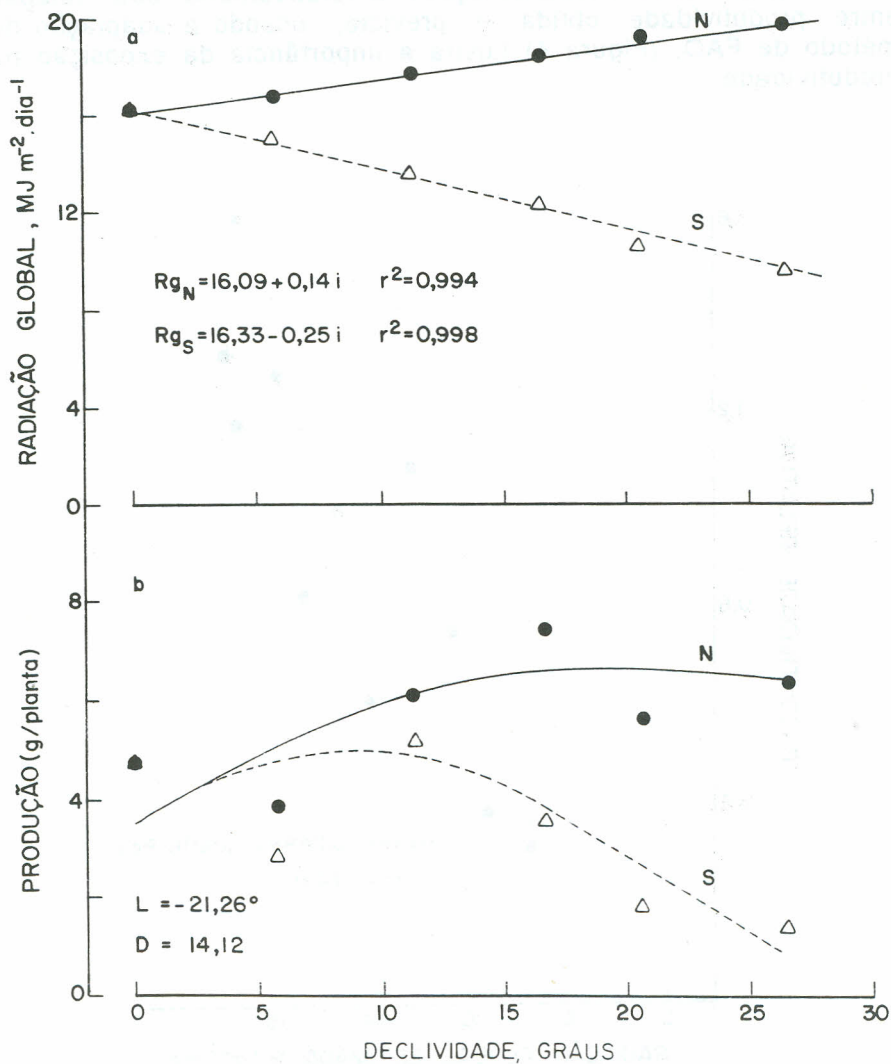


FIGURA 3. (a) Variação da radiação global nas encostas norte e sul (s), com vários declives: (b) produção de matéria seca de sorgo (parte aérea aos 68 dias) e declive nas exposições norte (Y_n) e sul (Y_s).
Fonte: Adaptado de Bernincasa, 1976.

Apesar dessas considerações, a relativamente boa relação entre produtividade obtida e prevista, usando a adaptação do método de FAO, (Figura 4) ilustra a importância da exposição na produtividade.

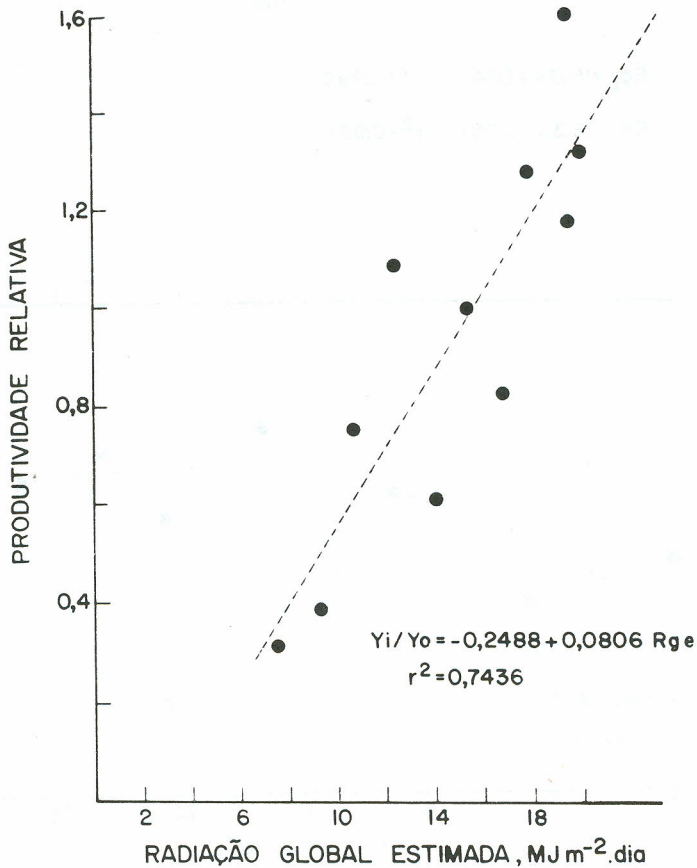


FIGURA 4. Relação entre produtividade relativa obtida por Bernincasa (1976) e radiação global estimada e desenvolvimento de milho (Shaw, 1977).

A irradiância recebida no fundo plano dos vales sofre influência das encostas. Haverá insolação direta, em todo o fundo de vale, durante uma fração do dia. Os valores médios mensais de R_g , no período de outubro a março, não variam muito entre as várias latitudes, mas caem acentuadamente com o aumento do declive das paredes do vale estreito. Esse decréscimo de energia que chega ao fundo dos vales mais estreitos corresponde a uma redução na produção de cerca de 65 kg/grau de declive das paredes.

Apesar do caráter especulativo dessas considerações, e de alguma incerteza no que se refere à radiação difusa, o efeito da exposição na produtividade potencial parece suficientemente pronunciado para receber mais estudos, mesmo nos trópicos. Isto cresce de importância ao se considerar a cultura do milho, intimamente ligada a pequenos produtores, que, em geral, exploram áreas mais acidentadas e fundos de vales estreitos.

Embora seja abundante a literatura mostrando a influência de variáveis climáticas no crescimento e desenvolvimento de milho (Shaw, 1977), tem-se encontrado dificuldades de avaliar e de estabelecer correlações entre produtividade de milho e características ambientais nas diferentes regiões brasileiras. Há evidências, contudo, de que a temperatura seja uma variável que tem grande influência na produtividade (Silva, 1988).

Eastin (1992) postula que temperaturas que limitam produção agrícola não são nem a subótima e nem supraótima e que variações de temperatura durante o desenvolvimento vegetativo têm geralmente pequenos efeitos na produção de grão. Porém, elevação de 3 a 4°C acima do normal (15 a 25°C) durante o período reprodutivo, reduziu a produção de grãos de trigo em um terço. Relatou ainda que, em sorgo, foi observado um aumento de quatro vezes na taxa respiratória e substancial aumento na taxa metabólica com o aumento de 5°C da temperatura noturna, em relação à normal.

Estudos desenvolvidos no CNPMS, acerca do comportamento de diferentes cultivares de milho, plantadas em diferentes épocas e condições climáticas, mostram (Figura 5) que a produção diferencia-se entre locais e entre épocas. Observa-se (Figura 6) que a radiação global não foi diferente entre locais, exceto em janeiro, quando Sete Lagoas apresentou valores muito inferiores. Com respeito à temperatura, observa-se que, tanto a temperatura média como mínima, são menores em Sete Lagoas do que em Janaúba,

que o parâmetro climatológico que mais poderia explicar estas diferenças seria a temperatura noturna.

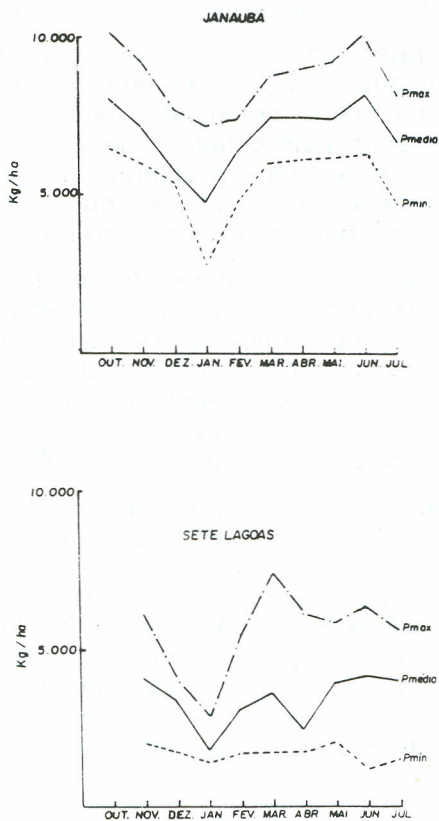


FIGURA 5. Produção máxima, média e mínima de milho irrigado em diferentes épocas de plantio, em Sete Lagoas e Janaúba, MG.

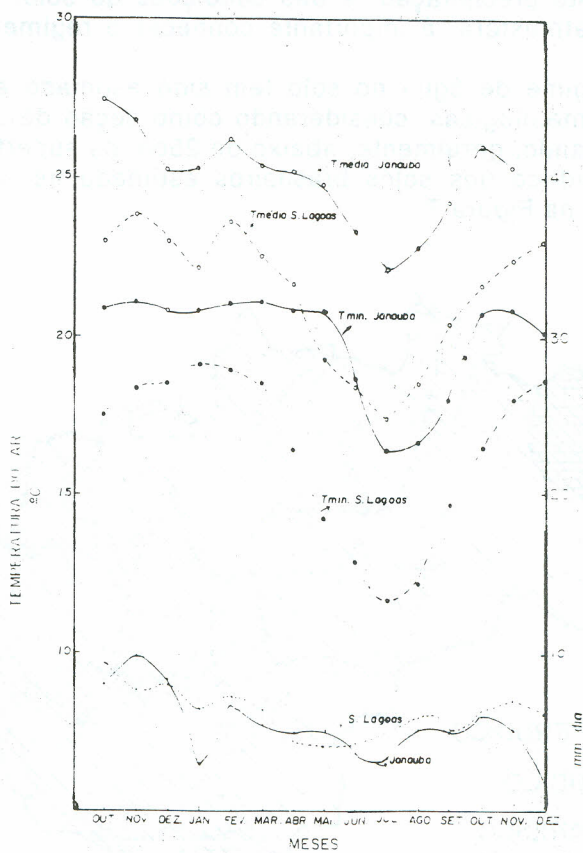


FIGURA 6. Temperatura média e mínima em $^{\circ}\text{C}$ e radiação global, em mm/dia, para os meses de outubro/1990 a dezembro/1991, em Sete Lagoas e Janaúba, MG.

ÁGUA

A água para as plantas depende das condições atmosféricas, principalmente precipitação, e das condições do solo. No sistema solo-planta atmosfera, é importante conhecer o regime de água no solo.

O regime de água no solo tem sido estimado a partir das normais climatológicas, considerando como seção de controle uma faixa começando, geralmente, abaixo de 25cm da superfície do solo. O regime hídrico dos solos brasileiros estimado dessa maneira é apresentado na Figura 7.



FIGURA 7. Regime hídrico dos solos do Brasil (Wambeke 1981).

Dependendo da presença de água retida em potencial de -1500 KPa (quilopascal ou -15 bar ou atmosfera), a seção pode estar toda seca (< -1500 KPa); parcialmente seca (parte < -1500 KPa), B; ou toda úmida, M (Figura 8).

Essas estimativas, além do caráter probabilístico, devem ser ajustadas conforme os dados locais dos solos e das plantas.

Os solos podem apresentar camadas que impedem não somente o aprofundamento de raízes, como também de águas. A profundidade de ocorrência dessas camadas e horizontes de baixa permeabilidade pode variar de poucos centímetros da superfície até mais de um metro.

Assim, a presença de camadas de baixa permeabilidade pode ser prejudicial ou benéfica, dependendo da profundidade em que se situam. A presença de fragipã, em alguns solos muito arenosos (Regossolos), a cerca de 150 cm de profundidade, no semi-árido brasileiro, melhora substancialmente a armazenagem de água. A presença de plintita bem próxima à superfície, por outro lado, torna os veranicos mais graves.

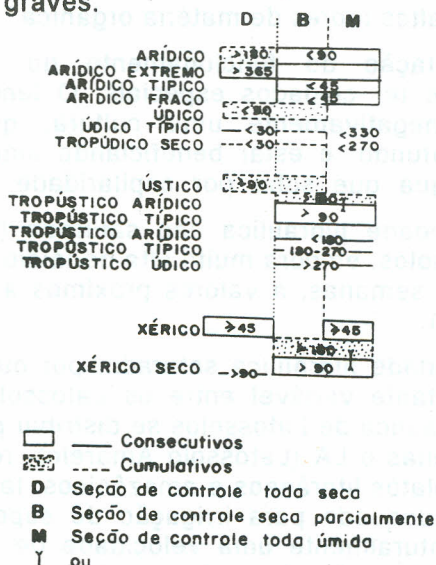


FIGURA 8. Esquema mostrando as classes de regime hídrico dos solos.

A vegetação original tem sido utilizada como indicador empírico da disponibilidade de água. No Brasil, o grau de

caducifolismo da vegetação arbórea tem sido usado para esse fim. Por exemplo, usando critérios de morfologia do solo e fases de vegetação, são feitas estimativas sobre os graus de limitação dada pela deficiência ou excesso de água, como mostrado no de classificação de solo (Benema et al 1965, Tabela 5).

Além dos aspectos de camadas de baixa permeabilidade e fases de vegetação, que se aplicam a áreas amplas, existem problemas de aplicação geográfica mais restrita como deficiência de drenagem, associada ou não com os horizontes e camadas que impedem a penetração de raiz e água e aqueles em que o lençol freático é elevado ou a permeabilidade é reduzida no perfil.

A presença de cores acinzentadas e da altura do lençol freático são critérios usados em campo, para identificar a classe de drenagem. Entre os solos de drenagem mais deficiente, o acúmulo de matéria orgânica no horizonte superficial pode servir como critério auxiliar. Com a melhoria da drenagem, há maior acúmulo de matéria orgânica, o horizonte deixa de ser orgânico (turfooso), mas ainda possui altos teores de matéria orgânica.

Na interpretação do funcionamento do ecossistema, há necessidade de se ter cuidados especiais. O lençol freático pode estar afetando negativamente uma cultura, que tem sistema radicular mais profundo, e estar beneficiando uma outra, por ser alimentada pela água que sobe por capilaridade (Figura 9).

A condutividade hidráulica não saturada (ou condutividade capilar) dos Latossolos, embora muito alta no início, cai bruscamente em cerca de duas semanas, a valores próximos a 0,01 mm/h (0,03 cm/dia) (Figura 10).

A condutividade hidráulica saturada, por outro lado, é muito elevada, mas bastante variável entre os Latossolos (Tabela 6). A condutividade hidráulica de Latossolos se distribui por várias classes de infiltração. Apenas o LA (Latossolo Amarelo), relacionado com o Grupo Barreiras (platôs litorâneos e amazônicos, tabuleiros costeiros e terciário) é adequado para irrigação de superfície. Os outros Latossolos têm naturalmente uma velocidade de infiltração básica muito elevada, sendo mais adequados, nesse aspecto, para irrigação por aspersão. No entanto, com o uso agrícola, essa infiltração tende a se reduzir.

TABELA 5. Graus de limitações (desvios) das condições de deficiência de água e oxigênio dos solos, em relação a um solo ideal onde $\Delta A = 0$ e $\Delta O = 0$ (Benema et al. 1965, com modificações de Ramalho et al. 1978; 1983).

Grau	Deficiência de água, ΔA	Excesso de água (Deficiência de oxigênio, ΔO)
0 (nulo)	Floresta perenifólia ou presença de lençol freático ou sob irrigação. Não há deficiência de água em nenhuma parte do ano. Incluem-se áreas de campos hidromórficos e subtropicais sempre úmidos. Quando $\Delta A = 0$, é possível realizar dois cultivos por ano.	Aeração boa em qualquer época do ano - bem a excessivamente drenados.
1 (ligeiro)	Pequena deficiência de água disponível (Ad) durante período curto na estação de crescimento. Só plantas bem sensíveis é que são prejudicadas no seu crescimento. Floresta subperenifólia (estação seca 1 a 3 meses). Em climas mais secos, com lençol freático elevado ou irrigados. Aptidão para dois cultivos é marginal.	Plantas de raízes mais sensíveis têm dificuldades na estação chuvosa; moderadamente drenados.
2 (moderado)	Ad: deficiente durante período um tanto longo: plantas não muito sensíveis podem ser cultivadas. Floresta subcaducifólia (estação seca 3-6 meses ou 3, se arenoso. Em clima mais seco, com lençol freático ou água estagnada (temporária). Também floresta caducifólia em solos com alta capacidade de retenção de Ad. Praticamente não há possibilidade de dois cultivos.	Plantas com raízes mais sensíveis não se desenvolvem satisfatoriamente; imperfeitamente drenados ou com risco permanente de inundação ocasional (recorrência: > 5 anos).

Continuação da Tabela 5.

Grau	Deficiência de água, ΔA	Excesso de água (Deficiência de oxigênio, ΔO)
3 (forte)	Ad: grande deficiência. Só possível plantas mais adaptadas. Caatinga hipoxerófila: floresta caducifólia; transições de cerrado e floresta para caatinga (estação seca 6 a 8 meses, 3 a 7 se arenoso; P = 600 a 800 mm/ano e irregulares e temperatura alta é predominante.	Culturas mais sensíveis só com drenagem artificial, ainda viável ao nível do agricultor; mal e muito mal drenados ou sujeitos a inundações frequentes (recor-rência: 1 a 5 anos).
4 (muito forte)	Deficiência é severa. Estação de crescimento curta ou mesmo ausente. A vegetação natural é escassa ou só presente durante parte do ano. Caatinga hiperxerófila (estação seca 8 a 10 meses. P = 400 - 600 irregulares e alta T).	Idem a grau forte, mas melhoramento não é viável ao nível do agricultor.

Ad = água disponível, P = precipitação, T = temperatura.

TABELA 6. Condutividade hidráulica (após 7h) de Latossolos brasileiros, relacionados com estrutura, teor de argila e mineralogia (Adaptado de Ferreira 1988).

Solos	Estrutura	Argila %	Ki	----- % -----				Condu- tividade hidráulica mm/ha
				Caulinita	Gibsitá	Goethita	Hematita	
LE ¹	~pBs ²	64	0,60	19	66	14	1	188
LR	~pG	54	0,42	1	80	3	16	243
LE	~pG	59	0,35	1	85	9	5	231
V	pBs	51	0,26	5	92	3	-	292
LA	pBs,a	50	2,15	88	4	8	-	10
LE	~pG	78	1,09	34	54	8	5	546
LV	pBs	63	1,71	8	8	9	1	71

¹LE = Latossolo Vermelho-Escuro, LR = Latossolo Roxo, LV = Latossolo Vermelho-Amarelo, LA = Latossolo Amarelo.

²p = pequeno, ~p = muito pequeno, Bs = blocos subangulares, Bs,a = blocos subangulares e angulares e G = granular.

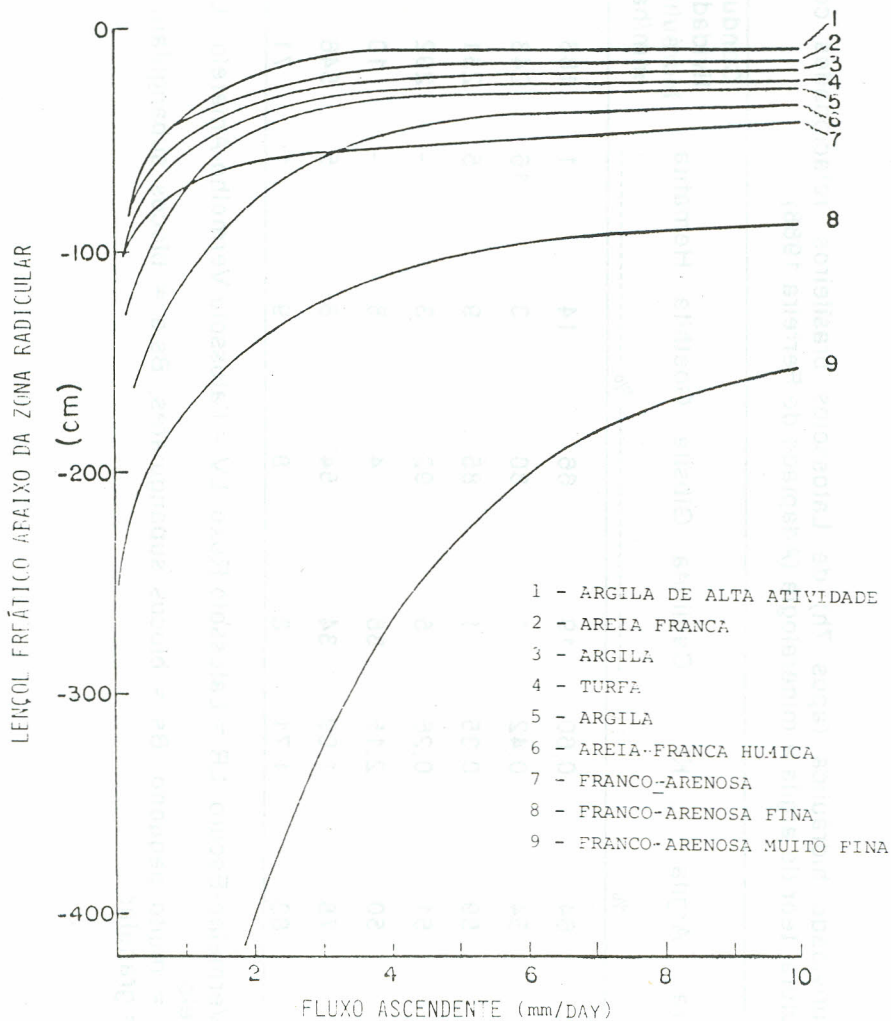


FIGURA 9. Contribuição do lençol frático à zona das raízes, em(mm/dia), sob diferentes condições de textura e de profundidade do lençol freático, sob condições úmidas (tensão na zona das raízes e 0,5 atm ou 50 kPa (Compilado por Doorenbos & Pruitt 1975).

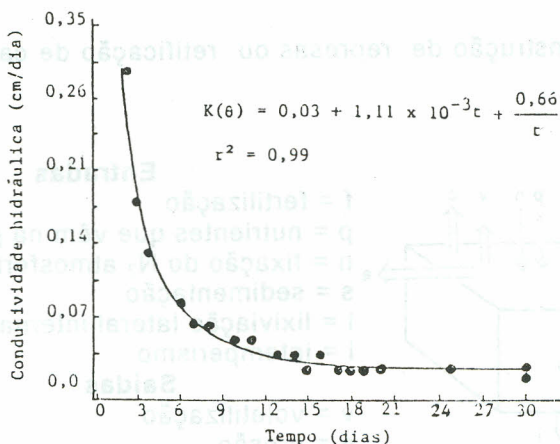


FIGURA 10. Variação da condutividade hidráulica do solo insaturado, com o tempo após saturação, de um Latossolo Vermelho-Escuro álico, da região de Sete Lagoas, MG (Sans 1986).

Os Latossolos argilosos pobres em gibsita são os que têm menor condutividade hidráulica. Nos relatórios de levantamento de solos, os Latossolos com pouca gibsita são aqueles com K_i mais elevado ($K_i > 1,5$, por exemplo). Por outro lado, existe uma tendência de Latossolos com teores de argila muito elevados, da ordem de 80%, apresentarem uma alta taxa de infiltração, quando possuem teores razoáveis de gibsita.

Além dos aspectos relativos à profundidade efetiva alterada, por exemplo, pela presença de rocha ou camadas impeditivas, em nível local, a forma do terreno pode alterar a disponibilidade de água. As formas côncavas tendem a receber e reter mais água.

NUTRIENTES

O balanço dos nutrientes no ecossistema ou ecotessela (Jenny 1961) depende de entradas e saídas (Figura 11).

A intensidade de cada seta, de perda ou ganho, é específica de cada situação.

A sedimentação era fundamental na fertilização dos solos aluviais, por exemplo, ao longo do rio Nilo: "O Egito é um presente

do Nilo". A construção de represas ou retificação de canais alteram essa fonte.

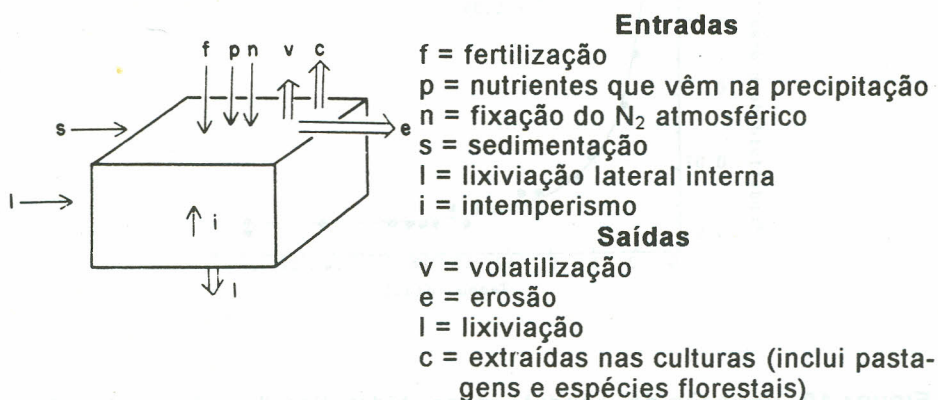


FIGURA 11. Esquema mostrando entradas e saídas de nutrientes no ecossistema agrícola.

A ocupação agrícola dos Latossolos, em particular os originalmente sob cerrado, tem um forte componente de fertilização.

Os ganhos pela precipitação podem ser substanciais. Jordan et al (1980), citados por Lima (1986), reportam uma entrada anual de 21,2 kg/ha de N, 24,8 kg/ha de P, 23,4 kg/ha de K, 27,0 kg/ha de Ca e 44,3 kg/ha de SO₄, na Amazônia venezuelana, via água de chuva. A fixação do N² atmosférico, ampliada ao ecossistema de gramíneas, pode chegar a 1,5kg de N/ha/dia (Dobereiner & Day 1975).

As perdas se dão principalmente por erosão e extração pelas culturas; a volatilização só é importante em alguns sistemas e a contribuição da lixiviação nas perdas tem sido exagerada. A idéia corrente de que a lixiviação é muito intensa nas regiões tropicais e que a eficiência do uso de fertilizante nitrogenado é baixa não encontra respaldo nos dados compilados por Coelho (1978) (Tabela 7) e naqueles obtidos por Coelho et al. (1991) (Tabela 8).

Em trabalho realizado em um Latossolo Vermelho-Escuro fase cerrado, Coelho et al. (1992), mostraram a permanência de NH₄⁺ no solo, mesmo decorridos 61 dias após a adubação em

cobertura. Esta forma predominou sobre NO_3^- a um pH de 5,5 e aplicação de 60 e 240 kg N/ha.

TABELA 7. Estimativa das perdas de nitrogênio por lixiviação em diferentes condições de solos, clima e culturas, de experimentos realizados no Brasil.

Solo ¹	Cultura	Período dias	Dose de N	N-Total Lixi- viado ----- kg/ha -----	N-Fertili- zante Lixiviado	Preci
						pi- ta- ção (mm)
TR	Feijão	120	120	6,7	-	661
TR	Feijão	365	100	15,0	1,4	1.382
LE	Milho	130	80	9,2	0,4	717
TR	Milho	150	100	32,4	11,0	620
TR	Feijão	86	42	-	0,8	403
PV	Cana-de- -açúcar	365	60	21,0	-	1.139
			20 + 40	14,0	-	

¹TR = Terra Roxa Estruturada; LE = Latossolo Vermelho-Escuro, fase arenosa;

PV = Podzólico Vermelho-Amarelo latossólico álico, textura arenosa.

Compilado por Coelho (1987)

A movimentação lateral interna é importante no enriquecimento de solos de conformação côncavo-côncava nos terços inferiores de muitas encostas do Brasil Sudeste (Resende 1969). É, frequentemente, nessas posições onde se situam as roças de milho e feijão de pequenos agricultores.

TABELA 8. Balanço do nitrogênio proveniente da uréia (60kg N/ha), no sistema solo-planta da cultura do milho, em Latossolo Vermelho-Escuro fase cerrado. Sete Lagoas, 1987.

Destino do N-fertilizante	Modo de aplicação				Média	
	Uréia na superfície		Uréia incorporada a 7,5cm		(kg/ha)	(%)
	(kg/ha)	(%)	(kg/ha)	(%)	(kg/ha)	(%)
Removido nos grãos	26,30	48,83	24,00	39,82	25,15	44,33
Removido ao sabugo	1,53	2,54	1,44	2,40	1,48	2,47
Removido na folha + palha	5,48	9,12	4,64	7,73	5,06	8,43
Removido no colmo + pendão	1,98	3,29	1,87	3,12	1,93	3,20
Total removido na planta	35,29	58,78	31,95	53,07	33,62	56,00
Retido no solo (0-90cm)	13,96	23,23	13,87	23,07	13,91	23,15
Total recuperado(planta + solo)	49,25	82,01	45,82	76,77	47,53	79,40
Perdas por lixiviação	2,21	3,70	2,39	4,01	2,30	3,85
Estimativa do erro	3,23	5,60	3,23	5,60	3,23	5,60
Déficit	5,81	8,70	8,56	14,40	7,00	11,55

Fonte: R.Bras.Ci.Solo, Campinas, 15:187-193, 1991.

Na avaliação dos ambientes naturais, quanto ao teor de nutrientes, os ganhos por intemperização e as perdas por erosão recebem um destaque especial.

Intemperismo x Material de Origem

Os solos originados de qualquer rocha podem ser pobres em nutrientes. Isso depende, partindo da mesma rocha, da "idade" do solo (Figura 12) e da taxa de intemperização/lixiviação (Carvalho Filho et al. 1991).

Assim, os solos mais velhos tendem a ocupar as posições de topo da paisagem, em superfícies esbatidas na horizontal. Dos solos mais novos para os mais velhos, ocorre um decréscimo na atividade da fração argila, associado ao empobrecimento de nutrientes. Por outro lado, cresce a profundidade e permeabilidade do solo.

Em princípio, é no material de origem que está a principal fonte de nutrientes de um solo. Assim, rochas que são muito pobres darão origem a solos muito pobres desde o início. No entanto, processo intenso de intemperismo e lixiviação pode levar a que rochas máficas dêem origem a solos pobres.

A Figura 13 mostra esquematicamente que a deficiência de nutrientes cresce da rocha máfica para a pelítica (mais pobre), a um mesmo nível de energia bioclimática.

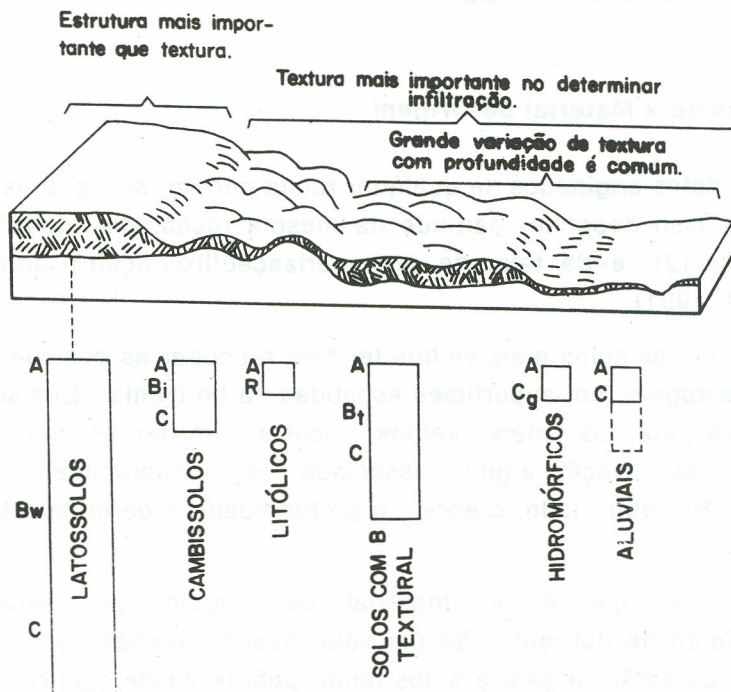


FIGURA 12. Disposição geral dos solos na paisagem, de acordo com a idade e profundidade do solo (horizontes A + B); numa região mais seca, ou onde o lençol freático permaneceu por mais tempo próximo à superfície, os solos tendem a ser mais novos.

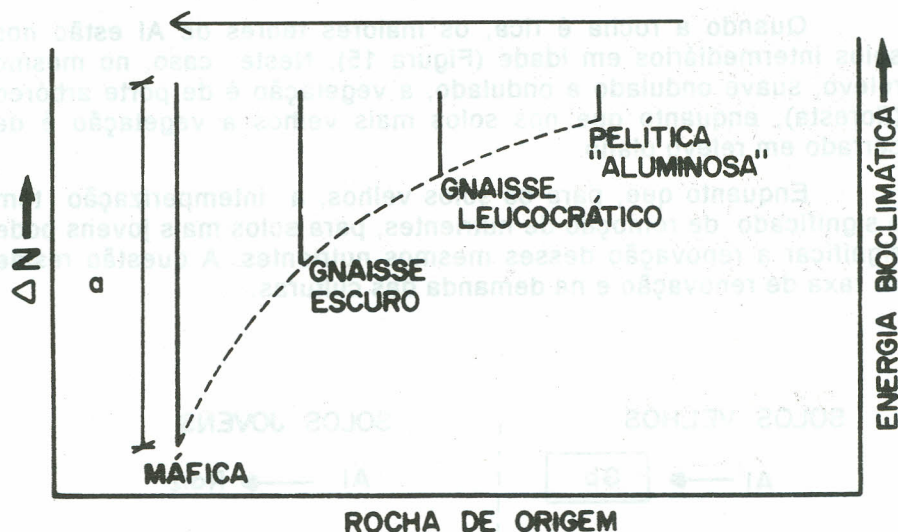


FIGURA 13. Ilustração esquemática da relação entre deficiência de nutrientes (N) dos solos originados de grupos diferentes de rocha. A linha interrompida mostra a tendência geral. A distância *a* indica que muita energia bioclimática (lixiviação) deve ser gasta para tornar um solo de rocha máfica tão pobre quanto um desenvolvido de rocha pelítica (Resende et al. 1988).

Idade do solo

Nas seqüências de idade, é particularmente interessante o que acontece com o teor de alumínio trocável, em dois ambientes: embasado em rochas pelíticas pobres e em rochas ricas.

Quando as rochas são pobres, (por exemplo, rochas pelíticas pobres como ao redor de Brasília), os solos jovens têm mais Al trocável do que os mais velhos (Figura 14). Apresentam-se em relevo suave ondulado e com vegetação graminóide e arbustiva.

A perda de sílica, com o envelhecimento do solo, e a conseqüente formação de gibsita ($pK = 33,8$) reduz o teor de Al trocável.

Quando a rocha é rica, os maiores teores de Al estão nos solos intermediários em idade (Figura 15). Neste caso, no mesmo relevo, suave ondulado a ondulado, a vegetação é de porte arbóreo (floresta), enquanto que nos solos mais velhos a vegetação é de cerrado em relevo plano.

Enquanto que, para os solos velhos, a intemperização tem o significado de remoção de nutrientes, para solos mais jovens pode significar a renovação desses mesmos nutrientes. A questão reside na taxa de renovação e na demanda das culturas.

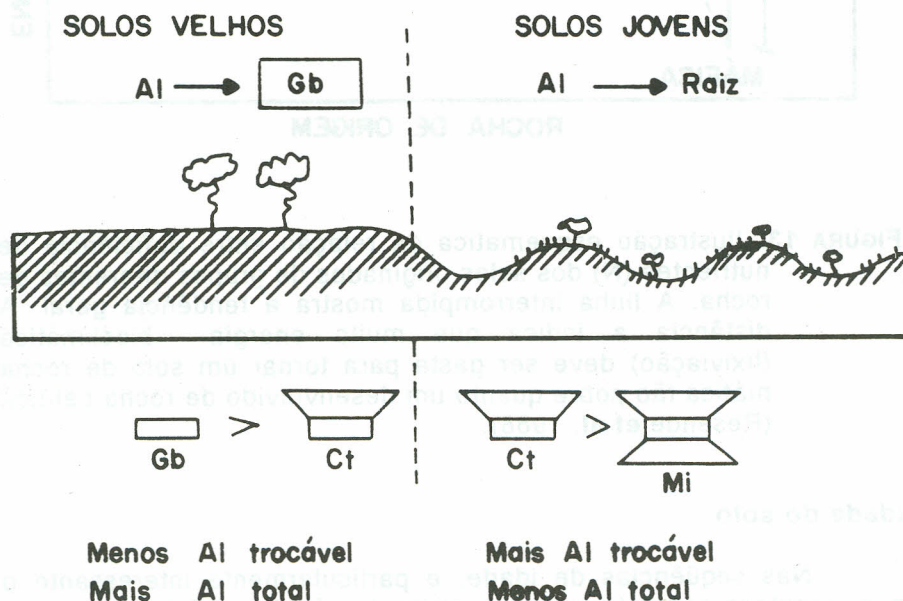


FIGURA 14. Solos velhos (Latosolos gibsíticos) e jovens (Cambissolos e Litólicos) desenvolvidos de rochas pelíticas pobres, como em Brasília. - Gb - gibsitica e Ct - caolínica.

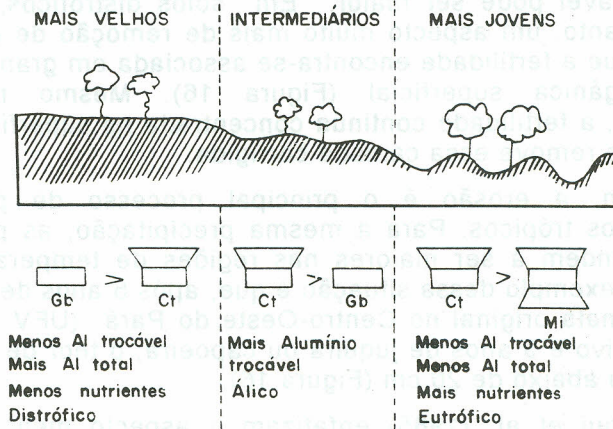


FIGURA 15. Variação nas propriedades dos solos de acordo com a idade, quando desenvolvidos de uma rocha rica.

Associadas com essas questões existem dois fatos:

1) os pequenos agricultores continuam plantando em alguns solos rasos acidentados, ano após ano, apenas interrompendo por períodos relativamente curtos. No semi-árido pernambucano, por exemplo, cerca de 5 anos de cultivos contínuos são alternados com pousios de 7 anos; não havendo, nesses sistemas, decréscimo aparente da produtividade (Souza et al. 1990);

2) Apesar da erosão acelerada, nos locais acidentados ainda existe solo.

As duas informações anteriores convergem para um fato: a intemperização é rápida o bastante para fornecer nutrientes às culturas e renovar o solo, evitando que a rocha se exponha. Os minerais primários facilmente intemperizáveis, que são os ricos em nutrientes, sofrem alteração tanto maior quanto mais próximos estiverem da superfície. Esse processo funciona, então, como um importante agente regularizador, evitando que o solo seja inteiramente removido, o que seria danoso à vida.

Quando os solos possuem minerais primários facilmente intemperizáveis, próximo à superfície (parte dos solos eutróficos), a erosão tolerável pode ser maior. Em solos distróficos, a erosão tem, no entanto, um aspecto muito mais de remoção de nutrientes, uma vez que a fertilidade encontra-se associada em grande parte à matéria orgânica superficial (Figura 16). Mesmo nos solos recuperados, a fertilidade continua concentrada na superfície, sendo que a erosão remove essa camada corrigida.

Assim, a erosão é o principal processo de perdas de nutrientes nos trópicos. Para a mesma precipitação, as perdas por lixiviação tendem a ser maiores nas regiões de temperatura mais amena. Um exemplo dessa situação é que, após 6 anos de derruba e queima da mata original no Centro-Oeste do Pará (UFV 1979), 3 anos de cultivo e 3 anos de juquira ou capoeira, o teor de nutrientes pouco variou abaixo de 20 cm (Figura 16).

Baruqui et al. (1985) enfatizam o aspecto mencionado da concentração de nutrientes nos primeiros centímetros, em solos distróficos, e a conseqüente fragilidade deste ambiente quando comparado a um solo eutrófico. A magnitude do efeito erosivo é totalmente diferente nos dois casos, com respeito à fertilidade e manutenção da cobertura vegetal.

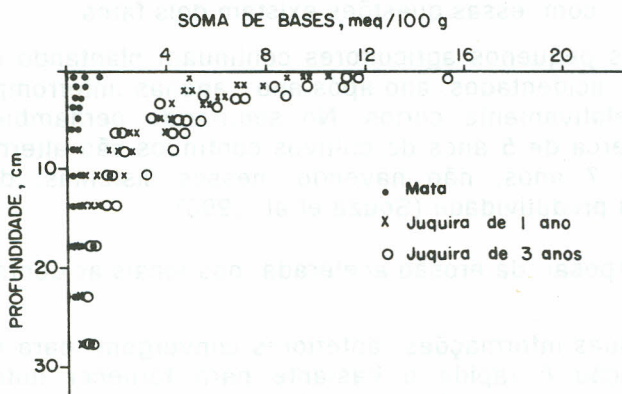


FIGURA 16. Variação da soma de bases em relação à profundidade, em Latossolo Amarelo do Centro-Oeste do Pará, sob mata e sob juquira de 1 a 3 anos (Universidade Federal de Viçosa 1979).

A importância das perdas de nutrientes por erosão torna o declive muito crítico, pois um pequeno aumento na inclinação do terreno significa um grande aumento na perda de nutrientes. Assim, os solos originalmente distróficos só mantêm boa reserva de nutrientes quando enriquecidos pela queima da vegetação, quando planos.

Até agora consideraram-se principalmente os ganhos de nutrientes, principalmente pela intemperização dos minerais facilmente intemperizáveis, mas interessa sobremaneira o balanço entre perdas e ganhos. Assim, há interesse em saber se o ambiente é mais ou menos conservador de nutrientes (Tabela 9).

INTERAÇÕES

A separação entre água e nutrientes é artificial. Sem água não há absorção de nutrientes. Sem nutrientes, principalmente fósforo, essencial para o crescimento de raízes, a absorção de água fica prejudicada.

Essa interação pode ser ilustrada por duas abordagens bem diferentes: ao nível de biomassa, contrastando florestas tropicais úmidas e caducifólias, e ao nível de estrutura de agregados dos solos.

Quando se passa da floresta úmida para a floresta caducifólia, há muitas alterações (Figura 17).

Na floresta úmida, o teor de nutrientes na fitossela aumenta e o do solo diminui. A ciclagem contínua, mantida pela diversidade biológica e disponibilidade de água, permite a existência de floresta exuberante num solo pobre.

A queda das folhas, estratégia necessária para enfrentar o estresse hídrico pronunciado, vulnerabiliza o ecossistema quanto aos nutrientes. A floresta caducifólia tende a só ocorrer em solos ricos (Jansen 1980), o que pode ser observado nos diferentes levantamentos de solos do Brasil.

TABELA 9. Classificação dos pedoambientes quanto às perdas e ganhos de nutrientes (Resende et al. 1988).

	Perdas ¹		Ganhos	
	Erosão	Lixiviação	Intemperismo	Adição
A - Solos eutróficos com minerais facilmente intemperizáveis				
1. Planos	x	x	xxx	xxx
2. Acidentados	xx	x	xxx	x
B - Solos distróficos sem minerais facilmente intemperizáveis				
a. Muito permeáveis				
3. Planos	x	xxx	x	x
4. Acidentados	xxx	xx	x	x
b. Pouco permeáveis				
5. Planos	x	x	x	x
6. Acidentados	xxx	x	x	x

¹x = baixa, xx = média e xxx = alta.

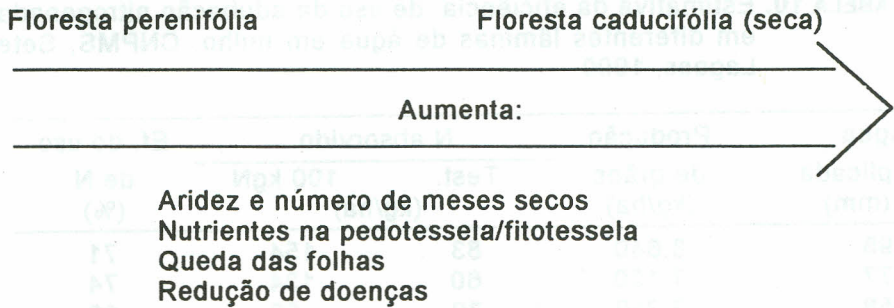


FIGURA 17. Esquema mostrando tendências em alguns aspectos ecológicos quando se passa de uma floresta úmida (perenifólia) para uma caducifólia.

Ao nível de estrutura do solo, a interação entre água e nutrientes, além daqueles nutrientes que chegam à planta pelo fluxo de massa (nitrogênio p.ex.), pode ser ilustrada com a difusão do fósforo. A tortuosidade, principalmente em solos argilosos, aumenta substancialmente com a redução do teor de água (Novais et al. 1991).

No caso de N, os dados obtidos da Tabela 10 exemplificam a interação entre absorção do nutriente e água aplicada.

Talvez um dos casos mais interessantes dessas interações foi o estudado por Silva (1986), ao analisar os resultados de 17 anos de perdas de solo e água no Agreste de Pernambuco. Nas parcelas pertinentes aos tanques coletores, foram instalados, durante 9 anos, experimentos de manejo, envolvendo modalidades de preparo do solo e cultivo do milho solteiro ou consorciado com feijão. Os tratamentos que manipulam mais o solo e provocam maiores perdas por erosão foram aqueles que apresentaram maior produtividade das culturas.

TABELA 10. Estimativa da eficiência de uso da adubação nitrogenada em diferentes lâminas de água em milho. CNPMS, Sete Lagoas, 1990.

Água aplicada (mm)	Produção de grãos (kg/ha)	N absorvido		Ef. do uso de N (%)
		Test. (kg/ha)	100 kgN (kg/ha)	
596	8.640	83	154	71
477	7.150	60	134	74
358	3.210	30	96	66

Fonte: EMBRAPA-CNPMS (dados não publicados).

Os tratamentos como aração e gradagem incorporaram o fósforo nas profundidades de cerca de 14 a 22 cm e nessa profundidade, com mais água disponível, a absorção de P se fez de forma mais eficiente do que em camadas mais rasas.

A distribuição de P com profundidade tende a decrescer exponencialmente nos tratamentos menos drásticos (EN, GS, GN e CH) (Figura 18).

Esses dados parecem indicar dois fatos muito importantes:

(a) os teores de fósforo dos primeiros 20 cm podem não ser um bom indicador de P disponível; não importa, nesse caso, o método de extração: se Mehlich, resina ou outros.

(b) A faixa de profundidades críticas, dependendo da interação entre disponibilidades de água e nutrientes, vai depender das condições climáticas e da natureza do solo. A faixa crítica deve ser tão mais profunda quanto a intensidade do veranico e a natureza arenosa do solo.

CLASSE DE SOLO: ESTRATIFICADORA DE AMBIENTES

Embora o interesse maior seja a estratificação ao nível dos campos de cultivo, hectares ou fração de hectares, numa escala continental adota-se uma hierarquia de critérios (Tabela 11). Os critérios climáticos, vegetacionais e edáficos tendem a ser enfatizados nessa ordem, do geral para o mais específico.

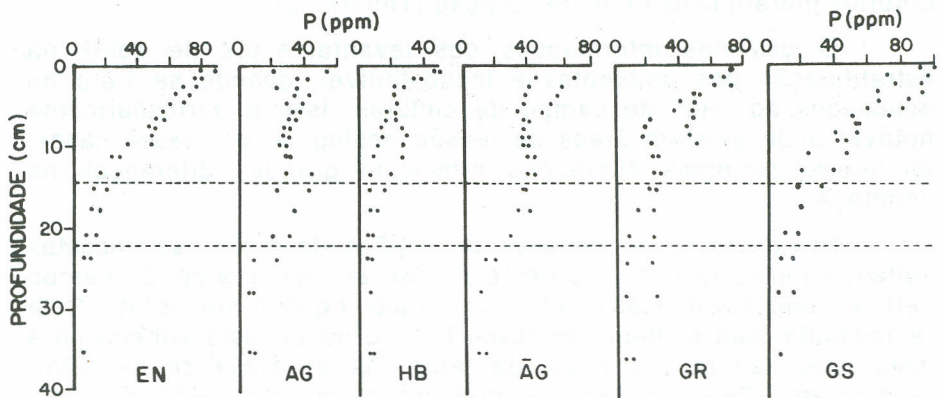


FIGURA 18. Variação dos teores de fósforo (Mehlich) com profundidade em um Regossolo Eutrófico, submetido a vários tratamentos (EN = enxada; AG = aração e gradagem; HB = herbicida; AG = duas arações e gradagem; GR = gradagem e GS = gradagem + sulcos) (Silva 1986).

Percebe-se, nos critérios de Bailey (1976), as classes de solos nos níveis mais detalhados da hierarquia (Tabela 11). Em regiões onde as temperaturas anuais apresentam certa uniformidade e não estão sujeitas a invernos rigorosos, a diferenciação do ambiente físico depende, ainda mais, de variações no substrato, isto é, do solo.

Para o território brasileiro, foi sugerida uma simplificação dos critérios hierárquicos de estratificação (Tabela 12).

O uso das informações dos levantamentos de solos na estratificação dos ambientes é insubstituível, quando se trata de aplicações ao nível de campo de culturas. Isso é particularmente notável onde existem áreas de tensão ecológica, e, nesses casos, às vezes pequenas alterações provocam grandes diferenças na vegetação.

Por exemplo, a presença de capões de mato nas encostas voltadas para leste, no Nordeste de Minas, numa área de campo cerrado, não estão relacionadas com maior riqueza nos solos. Está relacionada com o menor estresse hídrico na encosta voltada para leste, que não recebe o sol da tarde, na ausência de nevoeiro, orvalho etc. (Resende 1986). A previsão de solos mais férteis, pela vegetação, em casos como esse, levaria a erros. No que se refere à distribuição de floresta, cerrado e caatinga, Resende (1992) propõe uma ordenação de tolerância às deficiências de água e nutrientes (Tabela 13).

A caatinga só ocorreria em solos distróficos sob estresse hídrico suficientemente pronunciado para excluir o cerrado. Isso ocorre, por exemplo, em areias quartzosas distróficas do Rio Grande do Norte e Ceará (Jacomine *et al.* 1971; 1973).

A conclusão desta seção é a de que os critérios de estratificação devem levar em consideração os componentes do ecossistema, com ênfase diferencial, conforme o contexto. Vegetação, ou plantas indicadoras, e solos, incluindo a sua forma externa ou relevo, são os principais, em nível de detalhe.

TABELA 11. Hierarquia dos ecossistemas (Bailey, 1976).

Nome	Critério
1. Domínio	- Área subcontinental climaticamente relacionada
2. Divisão	- Clima regional simples, ao nível da classificação de tipos climáticos de Köppen (Trewartha, 1943)
3. Província	- Vegetação geral com o mesmo tipo ou tipos de solos zonais
4. Seção	- Clímax climático ao nível de tipos de vegetação potencial de Kùchler (1964)
5. Distrito	- Parte de uma seção tendo geomorfologia uniforme ao nível das regiões de formas de geosuperfícies de Hammond (1964)
6. Associação de tipos	- Grupo de geotipos vizinhos com padrão recorrente de geoformas, litologia, solos e associação de vegetação
7. Geotipos (Land Type)	- Grupo de fases vizinhas com séries ou famílias de solos ou com comunidades similares de plantas ao nível dos tipos de habitat de Daubenmire (1968)
8. Fase de geotipo	- Grupo de sítios vizinhos pertencentes à mesma série de solo com tipos de habitat afins
9. Sítio	- Tipo de solo ou fase e tipo de habitat ou fase

Trewartha, G.T. An introduction to weather and climate. New York, McGraw-Hill Book Co., 1943.

Kùchler, A.W. Potencial natural vegetation of the conterminous United States (map and manual). Amer. Geog. Soc. Spec. Publ. 36, 1973. 116p., escala do mapa 1:316000.

Hammond, E.H. Classes of land-surface form in the forty eight states, USA. Annals Assoc. Amer. Geog. V. 54. Map Supplement nº 4, escala 1:5000.000. 1964.

Daubenmire, R. Plant communities: a textbook of plant synecology. New York, Harper & Row, 1968. 300p.

TABELA 12. Hierarquização de classes das áreas geográficas de solos.

Pedozona (Domínio Pedo- climático)	Corresponde, em geral, aos domínios morfoclimáticos de AB`SABER, (1970): Mar-de-Morros, Amazônia, Depressões Interplanálticas Semi- áridas do Nordeste; Cerrados, Planalto das Araucárias, Pradarias Mistas; Pantanal etc.
Pedoprovíncia	Manchas representadas nos mapas exploratórios ou esquemáticos, por exemplo, manchas representadas no Mapa de Solos do Brasil, escala 1:5000000 (CAMARGO et al., 1981).
Pedoregião	Áreas de solos representadas nos mapas de reconhecimento ou ligeiramente mais detalhados.
Pedopaisagem	Unidade geográfica de solos facilmente reconhecível no campo e, em geral, abrangida pela vista do observador. Não é, necessariamente, pura taxonomicamente.
Fase de série	Menor unidade de paisagem, mapeável ou identificável a nível de campo com significado biológico.

Fonte: Resende et al (1988).

TABELA 13. Ordenação de floresta, cerrado e caatinga quanto à tolerância às deficiências de água e nutrientes.

Grau de tolerância	Tolerância à deficiência de água	Tolerância à deficiência de nutrientes
Mais tolerante	Caatinga	Cerrado
Mediamente tolerante	Cerrado	Mata
Menos tolerante	Mata	Caatinga

Fonte: Resende, 1992.

LITERATURA CITADA

- AB`SABER, A.N. 1970. Províncias geológicas e domínios morfo-climáticos no Brasil. *Geomorfologia*, São Paulo, 20. p.1-26.
- BAILEY, R.G. 1980. Description of the ecoregions of the United States. Washington D.C., U.S. Department of Agriculture. 77p. (Miscellaneous Publication, 1391).
- BARUQUI, F.; RESENDE, M. & FIGUEIREDO, M.S. 1985. Causas da degradação e possibilidade de recuperação das pastagens em Minas Gerais (Zona da Mata e Rio Doce). *Inf. Agropec.*, Belo Horizonte, 11:29-37.
- BERNINCASA, M. 1976. Efeito de rampas com diferentes declividades e exposições norte e sul de uma bacia hidrográfica sobre o microclima e produtividade biológica do *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Jaboticabal, Faculdade de Medicina Veterinária e Agronomia de Jaboticabal. 109p. (Tese Livre Docência)
- BENNEMA, J., BEEK, K.J. & CAMARGO, M.N. 1965. Interpretação de levantamento de solos no Brasil. Primeiro esboço: um sistema de classificação da capacidade de aptidão de uso da terra para levantamentos de reconhecimento de solo. Rio de Janeiro, Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo/FAO, 51p.
- BROWN, D.M. 1977. Response of maize to environmental temperatures. A review. IN: *Agrometeorology of the maize (Corn) crop*. World Meteorological Organization WMO. N 481. p.15-26.
- CAMARGO, M.N. *et al.* 1981. Mapa de solos do Brasil. Rio de Janeiro, SNLCS-EMBRAPA. Escala 1:5000.000
- CAMARGO, M.N. & OLMOS, I.I.J.; (eds.) 1983. II Reunião de classificação e correlação e interpretação de aptidão agrícola. Guia de excursão de estudos de solos nos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS/SBCS. 138p. (EMBRAPA-SNLCS, Documentos, 5).
- CARVALHO FILHO, A.; RESENDE, M. & KER, J.C. 1991. Solos distróficos ricos em minerais primários facilmente intemperizáveis. In: Congresso Brasileiro de Ciência, 23, Porto Alegre, Resumo dos trabalhos apresentados de 21 a 27/07/91, p.275. SBCS.

- COELHO, A.M. 1987. Balanço de nitrogênio ^{15}N na cultura do milho (*Zea mays* L.) em um Latossolo Vermelho-Escuro fase cerrado, Lavras, MG, ESAL.. 142p. (Tese de Mestrado).
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C. & GUEDES, G.A.A. 1991. Balanço de nitrogênio (^{15}N) em um Latossolo Vermelho Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. R.bras.Ci.Solo, Campinas 15:187-193.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. & BAHIA FILHO, A.F.C. 1992. Dinâmica do nitrogênio em um Latossolo Vermelho-Escuro fase cerrado cultivado com milho. Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1988-1991. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, V.6, P.215.
- DOBEREINER, J. & DAY, J.M. 1975. Potencial significance of nitrogen fixation in rhizosphere associations of tropical grasses. In: BORNEMISZA, E. e ALVARADO, A. Soil management in Tropical America Raleigh, University Consortium on Soils of the Tropics. p. 197-210.
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma, FAO. 212p. (Riego y Drenage 33).
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. 1975. Crop water requirements. Rome, FAO. 179p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- EASTIN, J.D. 1983. Sorghum. In: Symposium on potential of field crops under different environments. Manila, Philippines, International Rice Institute. 526p.
- EASTIN, J. 1992. Crop adaptation to limiting temperatures. Simpósio Internacional sobre Estresse Ambiental: O Milho em Perspectiva. Belo Horizonte. (Resumo mimeo).
- EARLY, E.B.; McILRATH, W.O.; SEIF, R.D. & HAGEMAN, R.H. 1967. Effects of shade applied at different stages of plant development on corn (*Zea mays* L.) production. Crop. Sci. 7:151-156.
- IGBAL, M. 1983. An introduction to solar radiation. New York, Academic Press. 390p.

- JACOMINE, P.K.T. 1971. Coord. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Rio Grande do Norte. Recife, Divisão Pesq. Pedol., DNPEA, Ministério da Agricultura/Divisão de Agrologia, DRN-SUDENE, Ministério do Interior. 531 p. (Divisão de Pesquisa Pedológica, Boletim Técnico 21/Divisão de Agrologia, Série Pedologia 9).
- JACOMINE, P.K.T. 1973. Coord. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará. Vol. II (Descrições de perfis de solos e análises). Recife, Divisão Pesq. Pedol., DNPEA, Ministério da Agricultura/Divisão de Agrologia, DRN-SUDENE, Ministério do Interior. 502p. (Divisão de Pesquisa Pedológica, Boletim Técnico 2/Divisão de Agrologia, Série Pedologia 16).
- JANSEN, D.H. 1980. Ecologia vegetal nos trópicos. São Paulo, EPU/EDUSP. 79p. (Coleção Temas de Biologia, V. 7).
- JENNY, H. 1961. Derivation of state factor equations of soils and ecosystems. *Soil Sci. Amer. Proc.* 25:385-388.
- KASSAM, A.H. 1977. Net biomass and yield of crops with provisional results for tropical Africa. Consultant's Report. Agroecological zones project, AGLS. Rome, FAO.
- LIMA, W.P. 1986. Entrada de nutrientes pela chuva e pela lixiviação das copas em florestas homogêneas de pinheiros tropicais e em vegetação natural de cerrado. *Acta Limnol. Brasil.* Vol. 1:503-525.
- NOVAIS, R.F. NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. 1991. Aspectos físico-químicos envolvidos na fixação do fósforo no solo. 5º Encontro Nacional de Rochas Fosfatadas. São Paulo, Potafós. (no prelo).

- PINTO, M.M. & RESENDE, M. 1985. A legislação frente à conservação e ocupação dos solos. *Inf. Agropec.* 11(128):69-76.
- RAMALHO FILHO, A; PEREIRA, E. G. & BEEK, K. J. 1978. Sistema de avaliação de aptidão agrícola das terras. Brasília, SUPLAN/SNLCS-EMBRAPA, 70 p.
- _____ 1983. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** 2ª ed. Rio de Janeiro, SUPLAN-MA/SNLCS EMBRAPA, 57p.
- RESENDE, M. 1986. Clima do solo - suas relações com o ambiente agrícola. *Inf. Agropec.*, Belo Horizonte, 12:43-59.
- RESENDE, M. 1992. Solo-clima-sucessão vegetal. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 140p. (Anotações para Seminário de Manejo Ecológico de Solos, organizado pela AS-PTA/Regional Sul e Consórcio Latino-Americano sobre Agroecologia y Desarrollo, CLADES; Ipê/RS, 13 a 18 de janeiro de 1992).
- RESENDE, M.; CURI, N. & SANTANA, D.P. 1988. Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações. Piracicaba, MEC/ESALQ/POTAFOS, 83p.
- SANS, L.M.A. 1986. Estimativa do regime de umidade, pelo método de Newhall, de um Latossolo Vermelho-Escuro Álico da região de Sete Lagoas, M.G. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 190p. (Tese D.S.).
- SILVA, W.J. & ANTUNES, F.Z. 1990. Aptidão climática para a cultura do milho. *Inf. Agropecuário* 6(72); 10-14.
- SILVA, A.B. 1986. Caracterização dos principais solos do Agreste de Pernambuco e o efeito do manejo de um Regossolo Eutrófico sobre a erosão e produtividade do milho e feijão. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 180p. (Tese M.S.).
- SHAW, P.H. 1977. Climatic Requirement. In: SPRAGUE, G.F. Corn and corn improvement. *Agronomy*, 18. Madison, Amer. Soc. of Agronomy, p.591-623.

- SOUSA, A.R.; RESENDE, M.; NUNES FILHO, J. & LIMA E SÁ, V.A. 1990. Solos Brunos Não-Cálcicos: a terra, o homem e o uso. *Pesq. Agropec. Pernambuco, Recife, Z(especial):811-86.*
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Levantamento exploratório, com intensidade, de solos do Centro do Estado do Pará. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1979, 266p.
- WAMBEKE, A. van. 1981. Calculated soil moisture and temperature regimes of South America - a compilation of soil climatic regimes calculated by using a mathematical model developed by F. Newhall. Ithaca, Cornell University, 25p. (SMSS Technical Monograph, 2).
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 1976. Agrometeorology of the maize (corn) crop. *Proc. Symposium Agrometeorology Maize. Iowa State University, Ames, Iowa, USA. 454p.*

