

**The text that follows is a TRANSLATION  
O texto que segue é uma TRADUÇÃO**

## **Transamazônica e sua simulação em modelos para a estimativa da capacidade de suporte humano.**

Please cite the original article:  
Favor citar o trabalho original:

**Fearnside, P.M. 1984. Initial soil  
quality conditions on the  
Transamazon Highway of Brazil  
and their simulation in models for  
estimating human carrying  
capacity. *Tropical Ecology* 25(1):  
1-21.**

Disponível em: <http://philip.inpa.gov.br>

**CONDIÇÕES DA QUALIDADE INICIAL DO SOLO NA RODOVIA TRANSAMAZÔNICA  
E SUA SIMULAÇÃO EM MODELOS PARA A ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE  
SUPORTE HUMANO**

Philip M. Fearnside, Ph.D.  
Coordenadoria de Pesquisas em Ecologia  
Instituto Nacional de Pesquisas  
da Amazônia - INPA  
C.P. 478  
69011-970 Manaus-Amazonas

Revisado 27 de dezembro de 2001

**RESUMO**

Com a finalidade de estimar a capacidade de suporte humano em uma área de 23.600 ha dentro da área de colonização na rodovia Transamazônica, precisou-se de um método para simular a distribuição inicial de qualidade de solo encontrada pelos colonos ao chegar na área, antes do início das suas atividades agrícolas. Sendo que era de interesse o efeito sobre a capacidade de suporte da variabilidade em produção agrícola, e portanto nos vários fatores que influem nesta produção, a variabilidade em qualidade de solo inicial tinha que ser reproduzida no modelo. Os solos da área são extremamente variados, desde áreas inférteis de latossolo amarelo (Oxisol) e podzólico vermelho-amarelo (Ultisol), até áreas menores de fertilidade relativamente alta, de terra roxa (Alfisol). Mapas foram feitos baseando-se em 187 amostras de solo de mata "virgem" para pH, P, K, Ca<sup>++</sup> & Mg<sup>++</sup>, e Al<sup>+++</sup>. Nitrogênio, carbono, declive e medidas granulométricas também foram mapeados. Freqüências de ocorrência de classes de pH, porcentagem de argila, declive, carbono e fósforo foram calculadas de mapas de 1180 quadrados de 20 ha, sendo o valor para cada quadrado considerado o da amostra mais próxima. No modelo, o pH da primeira área pequena de terra

(pedaço ou "patch") simulada foi estabelecido a partir da frequência de distribuição, enquanto valores para os pedaços subsequentes foram baseados no valor prévio, utilizando matrizes Markov de probabilidades de transição, para mudanças de 100 m entre pedaços (baseada em 46 pares de amostras) e de 500 m entre lotes adjacentes (baseada em 164 pares de amostras). Fósforo total, declive, carbono e argila foram gerados a partir de distribuições de uma regressão dos valores de pH e argila, enquanto o nitrogênio foi calculado de uma regressão dos valores de carbono e pH. O modelo reproduz a variação observada em uma escala de centenas de metros, junto com as correlações existentes entre valores de diferentes fatores de qualidade de solo. Os solos são de suma importância na variação de produções agrícolas e a simulação mostra seu efeito sobre a capacidade de suporte humano.

## SUMMARY

Agroecosystem models for estimating human carrying capacity require the simulation of initial soil quality to represent conditions before agricultural activities begin. This was done for a 23,600-ha section of the Brazilian government's colonization scheme on the Transamazon Highway. The effect of variability in agricultural production on human carrying capacity was a principal focus of the study. Factors influencing production, such as variability in initial soil quality, had to be reproduced in the modeling. The area's soils are extremely patchy, ranging from infertile areas of yellow latosol (Oxisol) and red-yellow podzolic (Ultisol) to smaller areas of the relatively fertile terra roxa (Alfisol). Maps were made based on 187 samples of soil in "virgin" forest, for pH, P, K, Ca<sup>++</sup> & Mg<sup>++</sup>, and Al<sup>+++</sup>. Nitrogen, carbon, slope, and granulometric measures were also mapped. Occurrence frequencies for classes of pH, clay content, slope, carbon, and phosphorus were calculated from maps of 1180 quadrats, values for each 20-ha quadrat being considered those of the nearest sample. In modeling, the pH of the first small area or "patch" of soil simulated was established using the frequency distribution, while values for subsequent patches were based on the previous value, using Markov matrices of transition probabilities for moves of 100 m between patches (derived from 46 pairs of samples), and of 500 m between adjacent lots (derived from 164 pairs of samples). Total phosphorus, slope, carbon, and clay were generated from frequency distributions. Aluminum ion (Al<sup>+++</sup>) concentration was calculated from a regression on pH and clay, while nitrogen was calculated from a regression on carbon and pH. The model reproduces observed variation at a scale of hundreds of meters, together with the correlations existing between different soil quality characters. Soils are of fundamental importance in affecting variation in crop yields, which the simulation shows to have great impact on carrying capacity.

## INTRODUÇÃO

A simulação da qualidade do solo sob floresta "virgem"<sup>1</sup> encontrado pelos colonos assentados ao longo da rodovia Transamazônica na área de colonização perto de Altamira foi necessária como uma parte do esforço de modelagem dirigido à investigação dos fatores que afetam a capacidade de suporte humano (Fearnside, 1986a). As características da fertilidade do solo foram importantes para prever as produções (e.g. Fearnside, 1979a, 1980a,b), enquanto que as características de topografia e estrutura do solo foram necessárias para prever a erosão (Fearnside, 1980c), que por sua vez afeta os indicadores de fertilidade usados nas previsões da produção. "Capacidade de suporte" refere-se à densidade de população humana que pode ser sustentada indefinidamente em uma área a um dado padrão de vida, dadas suposições a respeito de fatores como tecnologia produtiva e hábitos de consumo. Os modelos usados foram de natureza estocástica (Fearnside, 1979b, 1986b), sendo a capacidade de suporte operacionalmente definida em termos de um gradiente de probabilidades do fracasso do colono em alcançar o consumo e outros padrões com o aumento da densidade populacional. A variabilidade nas produções agrícolas resultou nos fracassos dos colonos; a variabilidade nos fatores que afetam as produções agrícolas foram portanto modeladas de maneira a simular esse aspecto do agro-ecossistema dos colonos. Os solos da área são extremamente heterogêneos, variando desde muito pobre até relativamente fértil sobre uma escala de centenas de metros. A estratégia de modelagem delineada neste trabalho reproduz a natureza retalhada das distribuições da qualidade inicial do solo como uma parte de modelos maiores para estimativa da capacidade de suporte.

A área de estudo intensivo para o projeto da estimativa da capacidade de suporte está composta de 236 lotes de colonos ao redor da Agrovila Grande Esperança, localizada na rodovia Transamazônica a 50 km oeste da cidade de Altamira, Pará. A área está em terra firme, bem drenada, entre os rios Xingu e Tapajós.

O centro da área está em 3° 22' Sul, 52° 38' Oeste, a aproximadamente 100 m de altitude. Cada lote tem 100 ha de terra, com dimensões de 500 x 2.000 m se o lote estiver na beira da rodovia principal ou 400 x 2.500 m se estiver na beira de uma das estradas secundárias laterais (vicinais). A área de estudo intensivo inclui todo o comprimento de três estradas vicinais (15/17, 16/18 e 17/19), importante na designação do estudo dessa zona de colonização onde faixas de solo de um dado tipo freqüentemente correm paralelas à direção leste-oeste da rodovia principal. Os solos da área de estudo intensivo estão classificados como latossolo amarelo (Oxisol) pelo mapa do Brasil de 1:250.000 do projeto RADAMBRASIL (Brasil, RADAMBRASIL, 1979, folha SA.22), mas estão classificados no grupo podzólico

vermelho-amarelo (Ultisol) no levantamento mais detalhado de Falesi (1972a, p. 49) dos solos da rodovia Transamazônica.

Os podzólicos vermelho-amarelos (Ultisols) na área são solos distróficos (base de saturação <35%) derivados de rochas de origem devoniana na formação Curuá (Falesi, 1972a, anexo 2). Durante sua longa história geológica sob condições de alta pluviosidade, a maioria dos cátions disponíveis e outros nutrientes das plantas foram lixiviados desses solos antigos. O processo de podzolização resultou na migração das partículas de argila (que na maioria dos solos fornecem os pontos em que se seguram os cátions necessários às plantas) para locais mais baixos, dando a esses solos sua característica diagnóstica: o horizonte argiloso B textural.

Latossol amarelo (Oxisol) tem pouca diferenciação entre horizontes de solo. Como acontece com o podzólico vermelho, latossolos amarelos nessa área derivam da formação Curuá devoniana superior (Falesi, 1972a, p. 67). O longo espaço de tempo durante o qual o solo evoluiu resultou na lixiviação da maioria das bases e na remoção de grande parte da sílica de todo o perfil, enquanto que os sesquióxidos de ferro e de alumínio concentraram-se nas camadas inferiores (horizonte B óxico ou latossólico). No entanto, horizontes B óxicos podem também ocorrer em Ultisols (Sánchez, 1976, p. 64) e a falta de aumento significativo no conteúdo de argila com profundidade permanece o critério de diagnóstico para Oxisols.

Em um exame mais datalhado, a área parece ser uma mistura desses dois tipos não férteis junto com pedaços (trechos) da terra roxa, mais rica (Alfisol). A diferenciação entre podzólico vermelho-amarelo (Ultisol) de latossol amarelo (Oxisol) requer a comparação da informação granulométrica entre os horizontes superiores e inferiores. Dos 22 perfis dos solos de terra roxa da área de estudo intensivo para a qual essa informação está completa para ambas as amostras mais superficiais (aproximadamente 0-30 cm) e mais profundas (aproximadamente 70-100 cm), sete (32%) seriam classificadas como latossol amarelo (Oxisol) e 15 (68%) como podzólico vermelho-amarelo (Ultisol), usando-se o critério da Taxonomia de Solo dos Estados Unidos para Ultisols de pelo menos um aumento de 20% no conteúdo de argila no horizonte inferior (Estados Unidos, Department of Agriculture, Soil Conservation Sciences, 1975).

Não se acredita que a diferença entre podzólicos vermelho-amarelos (Ultisols) e latossolos amarelos (Oxisols) seja tão importante sob o ponto de vista das produções no nível dos colonos da rodovia Transamazônica. Ambos os tipos de solo são ácidos e não férteis e as diferenças nos horizontes mais profundos têm pouco impacto sobre as culturas anuais de raízes

superficiais e pastagens plantadas pela primeira onda de agricultores pioneiros. A um alto nível de generalização, Ultisols são considerados menos apropriados para mecanização devido à susceptibilidade à compactação do solo e sua freqüente ocorrência em terrenos de declives mais inclinados do que os Oxisols (Sánchez, 1977, p. 539). Devido à tremenda variabilidade das condições locais, no entanto, tais generalizações precisam ser cuidadosamente examinadas para sua aplicação em qualquer situação agrícola dada antes de ser usada como uma base para conselho em decisões específicas de manejo. A grande variação de declives e de características granulométricas observada nesses solos dentro da área de estudo intensivo ilustra muito bem esse ponto.

A terra roxa (Alfisol) é muito mais fértil do que os outros dois tipos principais de solo. Esse solo é de origem mais recente do que o podzólico vermelho-amarelo (Ultisol) e o latossolo amarelo (Oxisol), sendo derivado de intrusões ígneas de rocha diabásica que ocorreram durante o Diastrofismo Paranaense que sacudiu grande parte do Brasil no médio-triásico (Falesi, 1972a, p. 126). Tendo menos tempo para desagregação e intemperação do que os outros dois tipos, a terra roxa (Alfisol) da área de Altamira reteve mais de seus cátions (base de saturação >35% para Alfisols). O alto conteúdo de ferro é responsável por sua aparência marcadamente vermelha e seu nome de "terra roxa". Enquanto que formalmente identificada por sua estrutura de partículas sub-angular, a aparência superficial da terra roxa e a sua mais alta fertilidade tornam sua presença rapidamente aparente para os colonos e outros, embora o podzólico vermelho-amarelo possa ser igualmente vermelho em coloração (ver 1, para explicação da taxonomia do solo brasileiro). O principal elemento que falta na terra roxa é o fósforo, que falta também no podzólico vermelho-amarelo e no latossolo amarelo. No entanto, quanto mais alto o pH, economiza aos agricultores com terra roxa os efeitos do sinergismo entre a acidez e o fósforo disponível na maioria dos solos da Amazônia, onde o baixo pH torna inutilizável grande parte do pouco fósforo existente (Kamprath, 1973, p. 140).

As altas concentrações de íons de alumínio tóxico nos tipos mais ácidos de solo não são um problema na terra roxa. Do ponto de vista da população de colonos na rodovia Transamazônica, o problema com a terra roxa é que a sua distribuição é tão limitada que só uns poucos favorecidos possuem lotes com esse solo. Foi tomada uma alta densidade de amostragem afim de quantificar essas e outras formas de variação em escala fina, um reflexo do esforço da modelagem da capacidade de suporte ser voltado para a elucidação das propriedades subjacentes dos agro-ecossistemas em vez de produzir uma pesquisa da maior área possível. No atual estudo, a qualidade do solo está mapeada e simulada usando-se as características do solo diretamente ligadas à produtividade agrícola ou à erosão do solo. Como a erosão e a produtividade

são afetadas muito mais pelas características das camadas superiores do solo do que pelas características do perfil que determinam a classificação taxonômica do solo, somente são simuladas as características da superfície em vez das unidades taxonômicas do solo.

## MÉTODOS

Foram coletadas amostras da superfície (0-20 cm de profundidade) e perfis do solo (0-100 cm de profundidade) na área entre 1974 e 1976. As amostras da superfície foram tiradas usando-se a metodologia empregada na região pela Organização de Alimentação e Agricultura das Nações Unidas (UN-FAO). Cada amostra compreende um composto de pelo menos 15 furadas feitas com um trado de solo tipo tubo, aleatoriamente através do "campo" (roça) que está sendo amostrado (ou no caso da floresta virgem por uma área aproximadamente equivalente a um campo). Onde foram usados dados de perfis de solo, os valores da análise do solo foram usados a partir dos 30 cm superiores do perfil. Os perfis são tirados em um local cada um, usando-se um trado tipo "holandês", com as amostras analisadas a três ou quatro profundidades. As amostras foram completamente misturadas e os pedaços de pedra, concreções lateríticas, madeira ou carvão vegetal removidos antes da análise. As amostras foram analisadas pelo laboratório da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em Belém, Pará.

Os métodos usados no laboratório são descritos em detalhe por Guimarães *et al.* (1970). Em resumo, eles são: método de Carolina do Norte para fósforo; método do Kjeldhal para nitrogênio; Titurin para carbono; cálcio e magnésio extraídos com 1 N KCl e determinados com 0,025 N NaOH; potássio extraído com 0,050 N HCl e 0,024 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e determinado em um fotômetro à chama; o pH determinado em água com um potenciômetro; areia grossa e fina por peneiras; argila total pelo método internacional de pipeta modificada usando-se 1 N NaOH como agente dispersivo, e limo pela subtração das outras três frações granulométricas de 100%.

O declive foi medido no campo usando-se um clinômetro (Suunto) em uma distância na ordem de 20 m no local onde foram tiradas as amostras de solo.

O mapeamento foi feito pela divisão de cada lote em quadras de 20 ha, e destinado a cada quadra os valores de parâmetros do solo da amostra mais próxima ao centro da quadra para a qual os dados estavam disponíveis para aquele parâmetro.

Para os indicadores de fertilidade do solo, foram usadas somente amostras tiradas da floresta virgem, enquanto que as

amostras de campos em qualquer uso de terra foram usadas para informação granulométrica e topográfica. As 1.180 quadras nos 23.600 ha da área de estudo foram mapeadas baseando-se em 187 amostras (Fig. 1) para parâmetros de "fertilidade básica" (pH,  $Al^{+++}$ , P,  $Ca^{++}$  &  $Mg^{++}$  e K), 111 amostras para N, 75 amostras para C, 200 amostras para características granulométricas (areia grossa, areia fina, limo e argila total) e 225 medições de declive. Nos modelos de capacidade de suporte, foram usados somente pH,  $Al^{+++}$ , P, N, C, declive e argila total, pois as características restantes<sup>2</sup> não contribuem significativamente para o poder de previsão das equações de regressão de produção agrícola e de erosão.

(Figura 1 aqui)

Um conjunto de programas FORTRAN manipula os dados para o cálculo das probabilidades de transição, freqüência de ocorrências, coordenadas no mapa, pares e distâncias das amostras e outras informações. A saída dos programas inclui informação formatada para uso com o programa de gráficos CARTOGRAPH do Michigan Interactive Data Analysis System (Fox & Guire, 1976), para a produção de mapas do solo.

## **MODELAGEM E RESULTADOS**

A distribuição espacial das qualidades do solo observadas no campo pode ser vista pelo pH (Fig. 2), fósforo total (Fig. 3), potássio (Fig. 4), íons de cálcio mais magnésio (Fig. 5), íons de alumínio (Fig. 6), nitrogênio total (Fig. 7), carbono total<sup>3</sup> (Fig. 8), argila total (diâmetro da partícula 0,2-2,0 mm) (Fig. 9), e declive (Fig. 10).

(Figuras 2-10 aqui)

Para a modelagem das distribuições das qualidades do solo observadas, cada lote simulado é dividido em muitos trechos pequenos hipotéticos ou "pedaços" de terra. Embora o tamanho de um pedaço possa ser determinado arbitrariamente, foi usado um tamanho uniforme de 0,25 ha para o propósito de estimativa da capacidade de suporte (Fearnside, 1978, 1986a). Quando o primeiro pedaço é examinado em uma execução de simulação, é destinada a uma classe de pH baseada nas freqüências (Fig. 11) na qual cada classe ocorreu nas 1.180 quadras mapeadas da área de estudo (Fig. 2). Para os pedaços subseqüentes na execução, a determinação da classe de pH está condicionada pela classe de pH do pedaço anterior, para refletir a tendência de pedaços da mesma classe estarem agrupados em áreas maiores. São usadas matrizes das probabilidades de transição (Tabela 1) de acordo com o tipo de mudança feita: mudanças entre pedaços dentro de um lote ou mudanças entre lotes vizinhos. As probabilidades de mudanças

dentro de um lote foram calculadas a partir de dados como "mudanças de 100 m"<sup>4</sup> usando-se 46 pares de amostras separadas por entre 0 e 200 m, enquanto que as mudanças entre os lotes foram calculadas como "mudanças de 500 m" usando-se 164 pares de amostras entre 400 e 600 m de distância. Uma vez que tenha sido determinada a classe do pH na simulação, o valor para o pH é gerado a partir da média e do desvio padrão dos valores dentro dessa classe.

(Figura 11 e Tabela 1 aqui)

O conteúdo de argila e o declive são determinados baseando-se nas freqüências das classes para esses parâmetros. A equação da regressão que expressa essa relação é:

$$Y = 11,43 - 7,68 \ln A - 6,27 \times 10^{-2} B \quad \text{Equação 1}$$

onde:

Y = alumínio (Al<sup>+++</sup> em meq/100g)

A = pH

B = argila total (%)

(P < 0,001; r=0,73; EP=1,56; N=118 amostras em floresta virgem)

O valor esperado para o alumínio baseado na Equação 1 é então alterado para refletir a variabilidade encontrada no conjunto original de dados usando-se o erro padrão da estimativa.

O carbono é então determinado baseando-se nas freqüências nos mapas de solo feitos para a área de estudo (Fig. 11) e a média e o desvio padrão dentro de cada classe. O fósforo é determinado da mesma maneira (Fig. 11). O nitrogênio então é calculado a partir dos valores de carbono e do pH para o pedaço, usando-se a equação:

$$Y = 0,132 A + 2,20 \times 10^{-2} B - 0,120 \quad \text{Equação 2}$$

onde:

Y = nitrogênio (% peso seco)

A = carbono (% peso seco)

B = pH

(P < 0,001; r=0,86; EP=0,0304; N=53 amostras em floresta virgem)

## DISCUSSÃO

O retalhamento em escala fina na qualidade do solo na Amazônia foi identificada por Van Wambeke (1978) e Moran (1981) como um empecilho importante para o uso dos pequenos mapas de solo que existem, para recomendações de manejo específico para a região. O tremendo número de amostras que seriam necessárias

para mapear uma parte significativa da Amazônia em uma escala apropriada para tais decisões garante que essa situação vai continuar por muitos anos. Poderia se conseguir, no entanto, melhorias significativas no conhecimento dos solos da região, à medida que o estoque de dados continua a aumentar, e através de melhor integração da informação sobre solo existente. A necessidade de ser capaz de simular a escala de retalhamento na qualidade do solo é urgente para se possibilitar modelos que trarão respostas à esses fatores nas decisões de planejamento. A suposição mais comum é que as qualidades de solo são uniformes, uma visão que é encorajada não somente pela natureza enganadora dos mapas disponíveis e pela falta de conhecimento específico das áreas para as quais estão sendo feitos os planos, mas também pela falta de compreensão de como interpretar e incorporar essa informação detalhada no planejamento caso ela viesse a estar disponível.

A escala dos retalhos torna a modelagem estocástica apropriada, como também as grandes diferenças entre os trechos mais e menos férteis. Os mapas de parâmetros do solo revelam que o mesmo lote freqüentemente tem mais de um tipo de solo (especialmente nas partes do mapa onde é maior a densidade de amostragem). O retalhamento é na verdade maior do que aparece nos mapas, devido à densidade relativamente esparsa da amostragem sobre uma porção significativa da área. As matrizes de probabilidades de transição, portanto, preservam esse retalhamento, pois são baseadas em transições observadas entre amostras reais em vez de quadras mapeadas. Deveria se assinalar que o número de observações no estudo atual é excessivamente pequeno. A matriz de probabilidades de transição para a classe de pH para movimentos de 100 m está particularmente não confiável por esse motivo, como é indicado pelo fato que para duas de sete classes a probabilidade de permanecer na mesma categoria é mais baixa do que para o movimento correspondente de 500 m (Tabela 1).

Os relacionamentos entre as características do solo encontradas aqui são conhecidas para solos tropicais em geral (e.g. Sánchez, 1976). O relacionamento logarítmico negativo da concentração de íons de alumínio com pH é bastante conhecida, como também é a relação positiva da concentração de íons de cálcio e magnésio com o pH. A constância relativa das razões de C/N em muitos solos tropicais indica uma estreita ligação entre esses elementos. As regressões incorporadas ao algoritmo para a geração da qualidade inicial do solo no modelo de simulação de capacidade de suporte preserva essas inter-relações, contribuindo para o realismo das qualidades de solo simuladas. Os solos simulados são predominantemente não férteis, como o são na área de estudo e na maior parte na região Amazônica.<sup>5</sup> No entanto, elas não estão sem pedaços de solo marcadamente melhor. Pedaços da terra roxa (Alfisol) relativamente fértil são

agriculturalmente importantes na área de colonização da rodovia Transamazônica perto de Altamira, embora sua extensão seja bastante limitada em relação à área total. Eles prevalecem mais nas áreas do km 20-33 e km 63-112 oeste de Altamira, ambos fora da atual área de estudo intensivo. Essas duas concentrações de terra roxa receberam uma parte desproporcional de esforço de pesquisa do governo e de outros na área entre Altamira e Itaituba, tais como as duas estações experimentais agrícolas no km 101 e km 23 (Viégas & Kass, 1974), levantamentos econômicos de Homma (1976) e Homma *et al.*, (1978) no km 90, e os estudos importantes de Moran (1976, 1981) no km 23 e Smith (1981) no km 90.

Pode-se calcular (Fearnside, 1986a) que as ocorrências de terra roxa que cruzam a rodovia Transamazônica abrangem um total de 76,8 km da parte da rodovia observada por Falesi (1972a).<sup>6</sup> Como outras pesquisas indicam que nenhum dos aproximadamente 3.000 km remanescentes da parte da rodovia dentro da Amazônia Legal é terra roxa (5), isso representa 2,6% da parte Amazônica da rodovia. Da parte colonizada da rodovia Transamazônica entre Marabá e Itaituba, isso representa 7,0% de beira de estrada. Na área total de  $5 \times 10^6$  km<sup>2</sup> da Amazônia Legal, os 10.000 km<sup>2</sup> desse solo calculados como existentes (Falesi, 1974b) representam somente 0,2% da região. Usando-se os valores da pH do solo da floresta virgem de pelo menos 5,5 como um indicador aproximado de terra roxa, 9% da atual área de estudo é desse tipo de solo, tornando-o a grosso modo representativo das áreas de colonização da rodovia. O fato de que 33,0% do solo na área de estudo tenha o pH em menos do que 4,0 e 63,2% tem o pH abaixo de 4,5, indica a extrema pobreza da maior parte do solo. A escala de retalhamento dessas classes de qualidades de solo radicalmente diferentes com respeito ao tamanho dos lotes dos colonos é extremamente importante para o sucesso da agricultura dos colonos individuais. A preservação dessa variação da escala espacial fina é, portanto, uma característica importante para os modelos da estimativa da capacidade de suporte humano. Onde possível, o retalhamento do solo deve ser estimado com respeito aos lotes dos colonos em estudos pré-colonização.

## CONCLUSÕES

- 1.) A escala de variação espacial da qualidade do solo e as inter-relações entre os parâmetros de qualidade do solo podem ser simulados nos modelos estocásticos.
- 2.) Os solos na área de colonização da rodovia Transamazônica são geralmente muito pobres mas existem ocorrências de melhores tipos de solo importantes agriculturalmente. A modelagem do padrão de ocorrência das classes de qualidade de solo é uma parte essencial na estimativa da capacidade de suporte humano.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro de Pesquisa do Trópico Úmido (EMBRAPA-CPATU) pelas análises das amostras de solo. O financiamento da coleta de dados veio do Projeto do Trópico Úmido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PTU-CNPq), National Science Foundation (GS-42869), Resources for the Future, Institute for Environmental Quality, e University of Michigan; apoio adicional veio do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA (PPI 1-3160) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq (AI 350230/97-8; AI 465819/00-1; 470765/2001-1). Agradeço à Sociedade Internacional de Ecologia Tropical (ISTE) pela permissão de publicar esta tradução (Fearnside, 1984). Nenhum dos pontos de vista expressados é da responsabilidade das instituições que financiaram a pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Beinroth, F.H. 1975. Relationships between U.S. Soil Taxonomy, the Brazilian Soil Classification System, and FAO/UNESCO soil units. p. 92-108 In: E. Bornemsza & A. Alvarão (compiladores) Soil Management in Tropical America: Proceedings of a Seminar Held at CIAT, Cali, Colombia, 10-14 February 1974. North Carolina State University Soil Science Department, Raleigh, North Carolina, E.U.A. 565 p.
- Bennema, J. 1975. Soil resources of the tropics with special reference to the well-drained soils of the Brazilian Amazonian forest region. p. 1-47 In: International Symposium on Ecophysiology of Tropical Crops, Manaus, 25-30 May 1975. Vol. 1.
- Brasil, Ministério da Agricultura, Divisão de Pesquisa Pedológica (DNPEA). 1973a. Levantamento de Reconhecimento dos Solos de uma Área Prioritária na Rodovia Transamazônica entre Altamira e Itaituba. DNPEA, Boletim Técnico N<sup>o</sup>. 34. Rio de Janeiro, 66 p.
- Brasil, Ministério da Agricultura, Divisão de Pesquisa Pedológica (DNPEA). 1973b. Estudo Expedido dos Solos no Trecho Itaituba-Estreito da Rodovia Transamazônica para Fins de Classificação e Correlação. DNPEA, Boletim Técnico N<sup>o</sup>. 31. Rio de Janeiro. 100 p.
- Brasil, Ministério da Agricultura, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Norte (EMBRAPA-IPEAN). 1974. Solos da Rodovia Transamazônica: Trecho Itaituba-Rio Branco, Relatório Preliminar. EMBRAPA-IPEAN, Belém.

125 p.

Brasil, Ministério da Agricultura, Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Norte (IPEAN). 1967. Contribuição ao Estudo dos Solos de Altamira. IPEAN Circular N°. 10. Belém. 47 p.

Brasil, Ministério das Minas e Energia, Departamento de Produção Mineral, Projeto RADAMBRASIL. 1973-79. Levantamento de Recursos Naturais, Vols. 1-18. Departamento de Produção Mineral, Rio de Janeiro.

Camargo, M.N. & I.C. Falesi. 1975. Soils of the Central Plateau and Transamazonic Highway of Brazil. p. 25-45 In: E. Bornemsza & A. Alvarado (compiladores) Soil Management in Tropical America: Proceedings of a Seminar Held at CIAT, Cali, Colombia, 10-14 February 1974. North Carolina State University Soil Department, Raleigh, North Carolina, E.U.A. 565 p.

Estados Unidos, Department of Agriculture, Soil Conservation Sciences. 1975. Soil Taxonomy: A Basic System of Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. (Agriculture Handbook 436). U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., E.U.A. 754 p.

Falesi, I.C. 1967. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da amazônia Brasileira. p. 151-168 In: H. Lent (compilador). Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica. Vol. 1. Conselho Nacional de Pesquisas, Rio de Janeiro. 484 p.

Falesi, I.C. 1972a. Solos na Rodovia Transamazônica. Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Norte (IPEAN) Boletim Técnico N°. 55. Belém. 196 p.

Falesi, I.C. 1972b. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia Brasileira. Parte I. p. 17-67 In: Zoneamento Agrícola da Amazônia (1ª. aproximação). Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Norte (IPEAN), Boletim Técnico N°. 54. Belém. 153 p.

Falesi, I.C. 1974a. O solo na amazônia e sua relação com a definição de sistemas de produção agrícola. p. 2.1-2.17 In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Reunião do Grupo Interdisciplinar de Trabalho sobre Diretrizes de Pesquisa Agrícola para a Amazônia (Trópico Úmido), Brasília, 6-10 Maio 1974. EMBRAPA, Brasília. Vol. 1.

Falesi I.C. 1974b. Soils of the Brazilian Amazon. p. 201-229 In: C. Wagley (compilador) Man in the Amazon. University Presses of Florida, Gainesville, Florida, E.U.A. 329 p.

Fearnside, P.M. 1978. Estimation of Carrying Capacity for Human Populations in a part of the Transamazon Highway Colonization Area of Brasil. Tese (Ph.D.) em ciências biológicas, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, E.U.A. 624 p.

Fearnside, P.M. 1979a. Cattle yield production for the Transamazon Highway of Brazil. Interciencia 4(4): 220-225.

17 Fearnside, P.M. 1979b. A Simulação da Capacidade de Suporte para Populações Agrícolas nos Trópicos Úmidos: Programa de Computador e Documentação. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), Manaus. 546 p.

Fearnside, P.M. 1980a. Os efeitos das pastagens sobre a fertilidade do solo na Amazônia Brasileira: Conseqüências para a sustentabilidade de produção bovina. Acta Amazonica 10(1): 114-132.

Fearnside, P.M. 1980b. Black pepper yield prediction for the Transamazon Highway of Brazil. Turrialba 30(1): 35-42.

Fearnside, P.M. 1980c. A previsão das perdas através de erosão do solo sob vários usos da terra na área de colonização da rodovia Transamazônica. Acta Amazonica 10(3): 505-511.

Fearnside, P.M. 1984. Initial soil quality conditions in the Transamazon Highway of Brazil and the simulation in models for estimating human carrying capacity. Tropical Ecology 25(1): 1-21.

Fearnside, P.M. 1986a. Human Carrying Capacity of the Brazilian Rainforest. Columbia University Press, New York, E.U.A. 293 p.

Fearnside, P.M. 1986b. Modelagem estocástica na estimativa da capacidade de suporte humano: Um instrumento para o planejamento de desenvolvimento na Amazônia. Ciência e Cultura 38(8): 1354-1365.

Fox, D.J. & K.E. Guire. 1976. Documentation for MIDAS. 3rd. ed., September 1976. University of Michigan Statistical Research Laboratory, Ann Arbor, Michigan, E.U.A. 203 p.

Guimarães, G. de A., J.B. Bastos & E. de C. Lopes. 1970. Métodos de análise física, química e instrumental de solos. Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte (IPEAN), Série: Química de Solos 1(1): 1-108.

Homma, A.K.O. 1976. Programação das Atividades Agropecuárias sob Condições de Risco, nos Lotes do Núcleo de Colonização de Altamira. Tese de mestrado em economia agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 73 p.

Homma, A.K.O., R.M.F. Viégas, J. Graham, J. de J.S. Lemos & J.C. dos Mendes Lopes. 1978. Identificação de Sistemas de Produção nos Lotes do Núcleo de Colonização de Altamira, Pará. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (EMBRAPA-CPATU), Comunicado Técnico N<sup>o</sup>. 4, Belém. 24 p.

Irion, G. 1978. Soil infertility in the Amazonian rain forest. Naturwissenschaften 65: 515-519.

Kamprath, E.J. 1973. Phosphorus. p. 138-161 In: P.A. Sánchez (compilador) A Review of Soils Research in Tropical Latin America. North Carolina Agricultural Experiment Station Technical Bulletin N<sup>o</sup>. 219. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, E.U.A. 197 p.

Moran, E.F. 1976. Agricultural Development in the Transamazon Highway. Latin American Studies Working Papers, Indiana University, Bloomington, Indiana, E.U.A. 136 p.

Moran, E.F. 1981. Developing the Amazon. Indiana University Press, Bloomington, Indiana, E.U.A. 292 p.

Sánchez, P.A. 1976. Properties and Management of Soils in the Tropics. John Wiley & Sons, New York, E.U.A. 618 p.

Sánchez, P.A. 1977. Advances in the management of OXISOLS and ULTISOLS in Tropical South America. p. 535-566 In: Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture, Tokyo, Japan, 1977. Society of Soil Science and Management, Tokyo, Japão.

Smith, N.J.H. 1977. Influências culturais e ecológicas na produtividade agrícola ao longo da Transamazônica. Acta Amazonica 7(1): 23-38.

Smith, N.J.H. 1980. Androsols and human carrying capacity in Amazonia. Annals of the Association of American Geographers 70(4): 553-566.

Smith, N.J.H. 1981. Rainforest Corridors: The Transamazon Colonization Scheme. University of California Press, Berkeley, California, E.U.A. 200 p.

Sombroek, W.G. 1966. Amazon Soils: A Reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon Region. Centre of Agricultural Publications and Documentation, Wageningen, Holanda. 292 p.

Van Wambeke, A. 1978. Properties and potentials of soils in the

Amazon Basin. Interciencia 3(4): 233-241.

Verdade, F. da C. 1974. Problemas de fertilidade de solo na Amazônia. Ciência e Cultura 26(3): 219-224.

Viégas, R.M.F. & D.C.L. Kass. 1974. Resultados de Trabalhos Experimentais na Transamazônica no Período de 1971 a 1974. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Norte (EMBRAPA-IPEAN), Belém. 54 p.

Vieira, L.S., N.V. de Carvalho e Oliveira & T.X. Bastos. 1971. Os Solos do Estado do Pará. Instituto do Desenvolvimento Econômico do Pará (IDESP) Cadernos Paraenses N°. 8. IDESP, Belém. 175 p.

Young, A. 1976. Tropical Soils and Soil Survey. University of Cambridge Press, Cambridge, Inglaterra. 268 p.

#### NOTAS

1 Floresta "virgem" é usada aqui para significar floresta não anteriormente desmatada por colonos, e mostrando nenhum sinal imediatamente aparente de perturbação. Populações indígenas ocuparam a região por milênios antes da recente iniciativa de colonização e assim essas florestas provavelmente não são realmente virgens no sentido de jamais terem sido perturbadas por humanos (ver Smith, 1980).

2  $Ca^{++}$  e  $Mg^{++}$  não contribuem para as predições de produção por causa de sua estreita ligação com pH.  $Ca^{++}$  e  $Mg^{++}$  em solo virgem podem ser previstos pela regressão:

$$Y = 2,841 A - 10,610$$

onde:

$$Y = Ca^{++} \text{ e } Mg^{++}$$

$$A = pH$$

$$(P < 0,001; r=0,71; EP=2,08; N=187).$$

As características granulométricas excluídas (areia grossa, areia fina e limo) estão todas correlacionadas com o conteúdo total de argila. O potássio nos campos agrícolas (depois da queima) está geralmente suficientemente alto para não limitar as produções especialmente dados os níveis muito mais baixos de outros nutrientes, tal como o fósforo.

3 A matéria orgânica não é considerada independentemente, pois o laboratório da EMBRAPA estima isso pela simples multiplicação da porcentagem do carbono total pela constante 1,72, uma prática padrão (Young, 1976, p. 102).

4 O uso de trechos de 0,25 ha (correspondendo a mudanças de

50 m) em vez de trechos de 1 ha (correspondendo a mudanças de 100 m) nas execuções da estimativa da capacidade de suporte significa que as probabilidades de transição de qualquer classe dada são sobre-estimadas.

5 Ver Irion (1978), Van Wambeke (1978), Sombroek (1966), Bennema (1975), Falesi (1967, 1972a,b, 1974a,b), Camargo & Falesi (1975), Brasil, DNPEA (1973a,b), Brasil, EMBRAPA-IPEAN (1974), Brasil, IPEAN (1967), Verdade (1974) e Vieira et al. (1971).

6 A estimativa a grosso modo de Camargo & Falesi (1975, p. 39) de 100 km ou 8% da extensão da rodovia parece alta.

**LEGENDAS DAS FIGURAS**

- Fig. 1 - Locais das amostragens de solo para mapas de "fertilidade básica".
- Fig. 2 - Mapa de pH para solo virgem.
- Fig. 3 - Mapa de concentração de fósforo em solo virgem.
- Fig. 4 - Mapa de concentração de potássio em solo virgem.
- Fig. 5 - Mapa de concentração de íons de magnésio e cálcio em solo virgem.
- Fig. 6 - Mapa de concentração de íons de alumínio em solo virgem.
- Fig. 7 - Mapa de concentração de nitrogênio total em solo virgem.
- Fig. 8 - Mapa de concentração de carbono total em solo virgem.
- Fig. 9 - Mapa de fração de argila total.
- Fig. 10 - Mapa de declive.
- Fig. 11 - Distribuições observadas de características de solo modeladas independentemente na área de estudo intensivo.

TABELA 1: PROBABILIDADE DE TRANSIÇÃO PARA O pH DE SOLO VIRGEM

Classe de pH Inicial	Classe de pH Final						Número de observações	
	<3,9	4,0-4,4	4,5-4,9	5,0-5,4	5,5-5,9	6,0-6,4		>6,5
deslocamento de 100 metros <sup>(a)</sup>								
<3,9	0,00	0,33	0,00	0,33	0,33	0,00	0,00	3
4,0-4,4	0,09	0,73	0,09	0,00	0,00	0,00	0,09	11
4,5-4,9	0,00	0,17	0,33	0,00	0,50	0,00	0,00	6
5,0-5,4	0,09	0,00	0,00	0,36	0,36	0,18	0,00	11
5,5-5,9	0,11	0,00	0,33	0,44	0,00	0,11	0,00	9
6,0-6,4	0,00	0,00	0,00	0,40	0,20	0,40	0,00	5
>6,5	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
deslocamento de 500 metros <sup>(b)</sup>								
<3,9	0,40	0,43	0,09	0,06	0,00	0,00	0,03	35
4,0-4,4	0,25	0,43	0,15	0,08	0,08	0,02	0,00	61
4,5-4,9	0,12	0,36	0,24	0,08	0,12	0,08	0,00	25
5,0-5,4	0,12	0,29	0,12	0,24	0,24	0,00	0,00	17
5,5-5,9	0,00	0,25	0,15	0,20	0,30	0,10	0,00	20
6,0-6,4	0,00	0,20	0,40	0,00	0,40	0,00	0,00	5
>6,5	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1

(a) Calculado de amostras que estão a 100 metros de cada amostra de referência  $\pm$  100 metros. Usado na simulação para deslocamentos entre trechos dentro de um lote.

(b) Calculado de amostras que estão a 500 metros de cada amostra de referência  $\pm$  500 metros. Usado na simulação para deslocamentos entre lotes.