

## UM MODELO ESTOCÁSTICO PARA A ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE SUPORTE HUMANO EM PARTE DA ÁREA DE COLONIZAÇÃO DA RODOVIA TRANSAMAZÔNICA

Recebido para publicação em 12/08/87

Philip M. Fearnside. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA

**RESUMO.** A capacidade de suporte humano, para populações agrárias nos trópicos, pode ser estimada com a ajuda de simulações do agro-ecossistema por computador. Um modelo estocástico está desenvolvido para estimar a capacidade de suporte em uma área de estudo localizada num dos projetos de colonização dirigida ao longo da rodovia Transamazônica. A capacidade de suporte está definida operacionalmente em termos de uma relação, computada empiricamente, entre a densidade populacional e a probabilidade de fracasso do colono levando em conta diversos critérios. Quando uma alta densidade populacional leva a ultrapassar a probabilidade máxima aceitável de fracasso, a população pode ser considerada acima da capacidade de suporte. As probabilidades de fracasso do colono são aquelas sustentáveis ao longo de muitos anos simulados.

A alta variabilidade nas produções das culturas parece exercer um efeito forte sobre a probabilidade de fracasso, baseando-se em comparação entre execuções determinísticas e estocásticas, das simulações. A variabilidade aumenta as probabilidades de fracasso quando as densidades populacionais são baixas, porém tem efeito oposto às densidades populacionais muito altas. A diminuição das probabilidades de fracasso quando as densidades populacionais são altas é devido a maioria de os colonos estar fracassando em um ano "média" nestas condições. Os efeitos podem ser testados para colonos de diferentes antecedentes ou que adotem diferentes tempos de pousio (descanso da terra) ou outras práticas agrícolas. As probabilidades de fracasso em execuções padrões são mais elevadas que aquelas consideradas aceitáveis por planejadores governamentais, em todas as densidades populacionais simuladas nas execuções estocásticas do atual estudo (densidade mais baixa: 24 pessoas/km<sup>2</sup>), dando, assim, apoio à impressão informal de muitos no sentido de que a capacidade de suporte da maior parte da terra firme Amazônica é baixa.

**ABSTRACT.** Human carrying capacity for tropical agricultural populations can be estimated with the help of a computer simulation of the agroecosystem. A stochastic model is developed for estimating carrying capacity in a study area in one of the government-directed small farmer settlement projects along Brazil's Transamazon Highway. Carrying capacity is operationally defined in terms of an empirically computed relationship between population density and the probability of colonist failure with respect to various criteria. When high population density leads to exceeding a maximum acceptable failure probability, carrying capacity can be considered to have been passed. Colonist failure probabilities are those which are sustainable over a long period of simulated years. High variability in crop yields appears to have a strong effect on failure probability based on comparison of deterministic and stochastic runs of the simulations. Failure probabilities are raised by variability at low population densities, but are lowered at extremely high densities where most colonists would fail in an "average" year. Effects can be tested for colonists with different backgrounds or with differing agricultural practices such as fallow times. Failure probabilities in standard runs are higher than those considered acceptable to government planners at all population densities simulated in the present study's stochastic runs (lowest density 24 persons/km<sup>2</sup>), thus lending support to the informal impression of many that the carrying capacity of most of Amazonia's uplands is low.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta os resultados gerais de um estudo mais abrangente (15, 38) que está voltado para a avaliação dos fatores que afetam a capacidade de suporte humano ao longo da rodovia Transamazônica. Fatores ligados à variabilidade nas produções agrícolas são aqui de interesse especial. A capacidade de suporte humano é o número de pessoas que podem ser sustentadas, por prazo indeterminado, em uma área a um dado padrão de vida, sem que haja degradação ambiental, dado presunções apropriadas sobre a tecnologia utilizada e os hábitos de consumo.

A Transamazônica é a parte central do Programa de Integração Nacional (P.I.N.), lançado em 1970 com objetivos que incluíram o assentamento rápido de colonos em vastas áreas da floresta tropical Amazônica e a integração da produção destas áreas com a economia mercantil nacional (31, 38, 41, 46, 47, 51, 57, 58, 59). As áreas de colonização eram para assentar, em lotes de 100 ha, pequenos produtores oriundos de áreas densamente populadas de outras partes do Brasil. Os programas maciços de colonização foram paralisados quando apenas ao redor de 5% das 100.000 famílias planejadas para a Transamazônica tinham sido assentadas. Mesmo assim, as transformações sociais e agrícolas no centro-sul brasileiro têm resultado em um forte fluxo de migração de pequenos agricultores para a Amazônia, especialmente para Rondônia. Embora a promoção ativa e o incentivo pelo governo à migração tenham diminuído, melhorias na rede rodoviária, agora em andamento, junto com diferenças nítidas entre as oportunidades existentes na Amazônia e nas áreas fontes dos migrantes, fazem com que seja provável a continuação do fluxo, junto com tentativas governamentais de regular e dar assistência ao processo de assentamento, uma vez que os migrantes chegam na fronteira. Estudos da relação entre a densidade populacional humana, recursos agrícolas e mudanças ambientais, portanto, têm grande importância em potencial para a Amazônia, além de ser fundamental para a pesquisa sobre ecologia humana em geral.

Enfatiza-se que os resultados aqui apresentados são preliminares, mais execuções da simulação e testes do modelo são necessários antes de se poder tirar conclusões concretas. O leitor também deve ser prevenido das limitações das simulações deste tipo: as saídas representam projeções daquilo que seria esperado ocorrer dado às condições e

relações explicitadas no modelo, e não deve ser confundido com as predições sobre acontecimentos futuros na Transamazônica (28). A distinção entre a simulação e a realidade nunca deve ser esquecida.

O modelo aqui apresentado, e os seus parâmetros de entrada, se referem a uma "área de estudo intensivo" de 23.600 ha, em volta da Agrovila Grande Esperança, no Estado do Pará. Esta "agrovila" (vila agrícola planejada) está situada no município de Prainha a 3°22' latitude sul, 52 37' longitude oeste (WAC Carta Aeronáutica Mundial, 1978), na terra firme interfluvial entre os rios Xingu e Tapajós (Figura 1).

A área em estudo inclui os lotes na faixa da Transamazônica entre km 43 e 58, e a extensão completa de três estradas vizinhas (15/17, 16/18 e 17/19). Dentre os 236 lotes na área de estudo intensivo, em 165 (70%) foram feitas amostragens durante os meus dois anos (1974-1976) de residência na Agrovila Grande Esperança. Uma visita prévia foi feita à área em 1973 (14). Vinte e sete visitas entre 1978 e 1985 propiciaram informações adicionais como parte de um programa de pesquisa a longo prazo sobre capacidade de suporte na Amazônia.

Estudos prévios de capacidade de suporte têm empregado várias abordagens, dependendo da finalidade da estimativa, a tecnologia utilizada pela população humana em estudo, os dados disponíveis, e as percepções particulares do pesquisador. Muitas vezes falta uma distinção clara entre os usos "sustentáveis" e "insustentáveis" do termo "capacidade de suporte". Frequentemente o termo tem sido usado para se referir a uma população que pode ser sustentada em um recurso a um dado momento, além do seu uso (como no estudo atual) também, para se referir a populações que poderiam ser sustentadas por prazo indeterminado.

A capacidade de suporte tem sido, historicamente, associada com a equação logística, que descreve a curva sigmóide (em forma de "S") do crescimento populacional. A equação logística foi derivada por Verhuist (65) e independentemente por Pearl e Reed (55), e foi intencionada, em ambos os casos, para o uso com populações humanas. A "capacidade de suporte" da equação logística estabelece o limite máximo da curva de crescimento, e que é um valor instantâneo relacionado à capacidade da população para sobreviver e reproduzir a determinados níveis de consumo de recursos e não à sustentabilidade a longo prazo daqueles níveis de abastecimento. Discussões da

## INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta os resultados gerais de um estudo mais abrangente (15, 38) que está voltado para a avaliação dos fatores que afetam a capacidade de suporte humano ao longo da rodovia Transamazônica. Fatores ligados à variabilidade nas produções agrícolas são aqui de interesse especial. A capacidade de suporte humano é o número de pessoas que podem ser sustentadas, por prazo indeterminado, em uma área a um dado padrão de vida, sem que haja degradação ambiental, dado presunções apropriadas sobre a tecnologia utilizada e os hábitos de consumo.

A Transamazônica é a parte central do Programa de Integração Nacional (P.I.N.), lançado em 1970 com objetivos que incluíram o assentamento rápido de colonos em vastas áreas da floresta tropical Amazônica e a integração da produção destas áreas com a economia mercantil nacional (31, 38, 41, 46, 47, 51, 57, 58, 59). As áreas de colonização eram para assentar, em lotes de 100 ha, pequenos produtores oriundos de áreas densamente populadas de outras partes do Brasil. Os programas maciços de colonização foram paralisados quando apenas ao redor de 5% das 100.000 famílias planejadas para a Transamazônica tinham sido assentadas. Mesmo assim, as transformações sociais e agrícolas no centro-sul brasileiro têm resultado em um forte fluxo de migração de pequenos agricultores para a Amazônia, especialmente para Rondônia. Embora a promoção ativa e o incentivo pelo governo à migração tenham diminuído, melhorias na rede rodoviária, agora em andamento, junto com diferenças nítidas entre as oportunidades existentes na Amazônia e nas áreas fontes dos migrantes, fazem com que seja provável a continuação do fluxo, junto com tentativas governamentais de regular e dar assistência ao processo de assentamento, uma vez que os migrantes chegam na fronteira. Estudos da relação entre a densidade populacional humana, recursos agrícolas e mudanças ambientais, portanto, têm grande importância em potencial para a Amazônia, além de ser fundamental para a pesquisa sobre ecologia humana em geral.

Enfatiza-se que os resultados aqui apresentados são preliminares, mais execuções da simulação e testes do modelo são necessários antes de se poder tirar conclusões concretas. O leitor também deve ser prevenido das limitações das simulações deste tipo: as saídas representam projeções daquilo que seria esperado ocorrer dado às condições e

relações explicitadas no modelo, e não deve ser confundido com as predições sobre acontecimentos futuros na Transamazônica (28). A distinção entre a simulação e a realidade nunca deve ser esquecida.

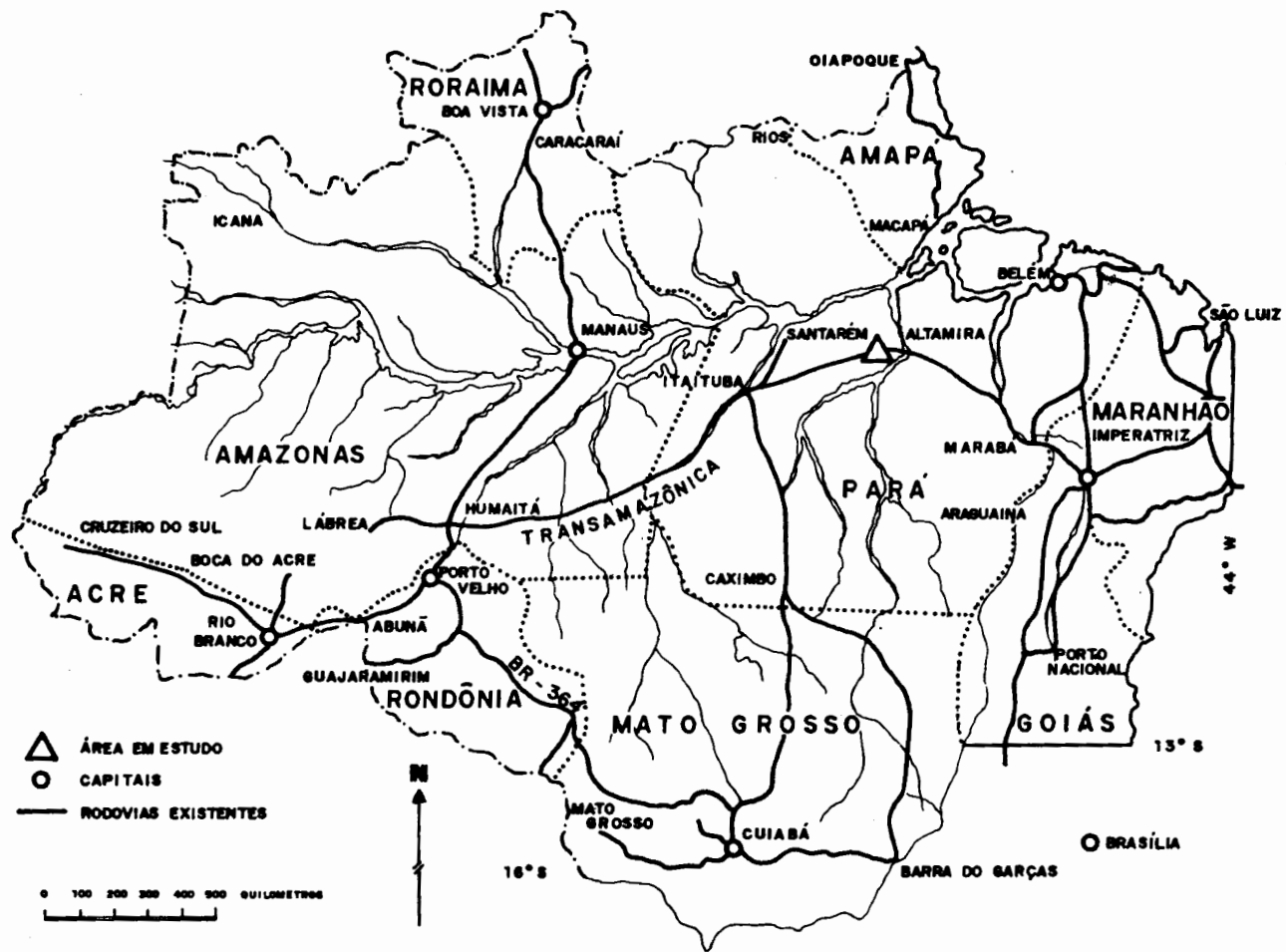
O modelo aqui apresentado, e os seus parâmetros de entrada, se referem a uma "área de estudo intensivo" de 23.600 ha, em volta da Agrovila Grande Esperança, no Estado do Pará. Esta "agrovila" (vila agrícola planejada) está situada no município de Prainha a 3°22' latitude sul, 52 37' longitude oeste (WAC Carta Aeronáutica Mundial, 1978), na terra firme interfluvial entre os rios Xingu e Tapajós (Figura 1).

A área em estudo inclui os lotes na faixa da Transamazônica entre km 43 e 58, e a extensão completa de três estradas vizinhas (15/17, 16/18 e 17/19). Dentre os 236 lotes na área de estudo intensivo, em 165 (70%) foram feitas amostragens durante os meus dois anos (1974-1976) de residência na Agrovila Grande Esperança. Uma visita prévia foi feita à área em 1973 (14). Vinte e sete visitas entre 1978 e 1985 propiciaram informações adicionais como parte de um programa de pesquisa a longo prazo sobre capacidade de suporte na Amazônia.

Estudos prévios de capacidade de suporte têm empregado várias abordagens, dependendo da finalidade da estimativa, a tecnologia utilizada pela população humana em estudo, os dados disponíveis, e as percepções particulares do pesquisador. Muitas vezes falta uma distinção clara entre os usos "sustentáveis" e "insustentáveis" do termo "capacidade de suporte". Frequentemente o termo tem sido usado para se referir a uma população que pode ser sustentada em um recurso a um dado momento, além do seu uso (como no estudo atual) também, para se referir a populações que poderiam ser sustentadas por prazo indeterminado.

A capacidade de suporte tem sido, historicamente, associada com a equação logística, que descreve a curva sigmóide (em forma de "S") do crescimento populacional. A equação logística foi derivada por Verhulst (65) e independentemente por Pearl e Reed (55), e foi intencionada, em ambos os casos, para o uso com populações humanas. A "capacidade de suporte" da equação logística estabelece o limite máximo da curva de crescimento, e que é um valor instantâneo relacionado à capacidade da população para sobreviver e reproduzir a determinados níveis de consumo de recursos e não à sustentabilidade a longo prazo daqueles níveis de abastecimento. Discussões da

FIGURA 1



equação logística, especialmente no contexto de populações humanas, muitas vezes fazem a presunção errônea de que o valor desta equação, para capacidade de suporte, seja sustentável por Hardesty (43, p.195), em outros aspectos uma revisão bastante útil da capacidade de suporte humana. Mesmo como uma medida instantânea, a equação logística tem muitas presunções limitadoras, tais como a ausência de características na história de vida, demoras nas reações às mudanças de densidade populacional, efeitos não-lineares e diferenças entre os membros de uma população (69, 68). Estas e outras presunções fazem com que esta formulação seja inapropriada para populações humanas, assim como para as populações de muitos dos organismos bem mais simples, às quais a equação logística tem sido aplicada. Kingsland (45) delineou os processos sociais dentro da comunidade científica que ajudam a entender o uso generalizado desta equação ao longo das décadas após 1920, mesmo frente às indicações ao contrário. Apesar das limitações severas da equação, o cálculo da capacidade de suporte para populações humanas por meio da aplicação de técnicas de ajustamento de curvas, utilizando dados demográficos históricos, ainda persiste (56).

As fórmulas de agricultura itinerante representam um avanço em relação à equação logística para estudo de capacidade de suporte humano, embora as suas limitações sejam muitas, também. Estas fórmulas fazem uma relação entre fatores tais como os períodos de cultivo e de pousio (descanso ou alqueive), e as médias das produções das culturas e de consumo dos produtos, para poder calcular o número de agricultores itinerantes que poderia ser sustentado numa dada área. As fórmulas de agricultura itinerante têm sido utilizadas, principalmente, para estudos de grupos tribais sustentados por agricultura migratória de ciclo longo. Feachem (12) mostrou serem equivalentes as fórmulas derivadas por Allan (1, 2), Conklin (8), e Carneiro (7). A equivalência algébrica das semelhantes fórmulas derivadas por Gourou (42, p.45) e Fearnside (13) também pode ser mostrada. Muitos dos que aplicaram as fórmulas de agricultura itinerante, na prática têm sido criticados por Street (60) por falta de atenção às presunções do método. As suposições incluem a condição estática da tecnologia de agricultura, a alocação da terra, o consumo, a falta de ligação entre a intensidade de cultivo e as produções das culturas, por exemplo, devido ao aumento das perdas causadas por pragas e doenças. Street acusa, com razão, muitos dos pesquisadores que tentaram estimativas de capacidade de suporte,

utilizando as fórmulas de agricultura itinerante, de ter presumido, sem querer, que os períodos de cultivo e de pousio observados durante um trabalho de campo sejam aqueles que possam ser sustentados por prazo indeterminado. O devido uso destas fórmulas necessitaria de estimativas independentes destes parâmetros, derivados a partir de estudos das mudanças na qualidade do solo e outros fatores, sob uso prolongado a diferentes intensidades.

O "conceito" de capacidade de suporte, no sentido representado pelas fórmulas de agricultura itinerante, tem sido atacado por Brush (4) e Hayden (44), e defendido por Glassow (40). Brush (4, p. 806) acredita que "o principal ponto fraco do conceito de capacidade de suporte é o fato de que a teoria de homeostase, inerente no conceito, não é nem testável nem refutável". A "teoria de homeostase" aqui se refere, em particular, aos ajustamentos de um grupo, voltados a manter o equilíbrio, que pesquisadores têm afirmado serem causados por alterações na densidade populacional relativa à capacidade de suporte. A questão chave é o uso que está dado para as estimativas de capacidade de suporte, ao invés da validade das estimativas em si. Quando a capacidade de suporte é usada como instrumento explanatório para mudanças constatadas em padrões culturais, os mecanismos devem ser identificados, para que haja um efeito de retroalimentação sobre a cultura, tanto no nível de ajustamento a curto prazo como no nível de mudanças a longo prazo por evolução cultural, isto quando uma população aproxima-se da capacidade de suporte. Para uma entrada neste debate, ver Brush (5), Cowgill (9), Vayda (62, 63) e Vayda & McCay (64).

A finalidade do atual estudo da capacidade de suporte na Transamazônica, porém, é de produzir um indicador que poderia ser usado no planejamento populacional e de desenvolvimento, ao invés de explicar mudanças demográficas ou tecnológicas.

Hayden (44 p. 11) acredita que "os problemas práticos envolvidos na mensuração e na utilização da capacidade de suporte têm demonstrado que o conceito é deficiente em teoria, pouco realístico na implementação e impossível de mensurar". Ele propõe "abandonar" a capacidade de suporte para substituí-la por uma medida chamada a "taxa de sobre-exploração de recursos". A medida de Hayden, corretamente, dá ênfase à variabilidade no abastecimento de alimentos e de outros recursos, uma coisa que está faltando nas fórmulas para estimar a capacidade de suporte sob agricultura itinerante. Hayden argumenta que a frequência, duração e a severidade de

épocas carentes de recursos (períodos que ultrapassam a capacidade de suporte instantânea) serão os fatores mais importantes afetando a resposta, se houver, que uma população humana apresentaria quando experimentando tais carências.

A medida alternativa de Hayden, na realidade, não é um substituto para a capacidade de suporte: se fosse solucionada a equação de Hayden de taxa de sobre-exploração de recursos, para o termo que representa a densidade populacional, e se a taxa de sobre-exploração de recursos fosse fixa em um valor igual ao de um limite máximo aceitável, o resultado obtido seria um valor muito parecido com a capacidade de suporte, como definida operacionalmente no estudo atual da Transamazônica, desde que o critério adicional de sustentabilidade seja obedecido. Como no caso das críticas feitas por Brush (4) à capacidade de suporte, as principais reservas de Hayden também focalizam as declarações às vezes feitas para estimativas, com fórmulas de agricultura itinerante, como explicações de acontecimentos na evolução de culturas, ao invés dos problemas das fórmulas de capacidade de suporte em si. A ênfase dada por Hayden sobre a variabilidade é apropriada, não só para as interpretações arqueológicas que ele procura, como também para a tarefa do atual estudo em desenvolver a capacidade de suporte como um instrumento de planejamento.

Tanto Brush como Hayden se desanimam frente à dificuldade de se obterem estimativas dos parâmetros necessários para cálculos de capacidade de suporte, porém, como Glassow (40) salienta, isto não é uma razão para abandonar a tentativa. A importância em potencial da capacidade de suporte para formular políticas sustentáveis de população e de desenvolvimento leva à necessidade de mais esforço, tanto na elaboração teórica quanto na colheita de dados reais.

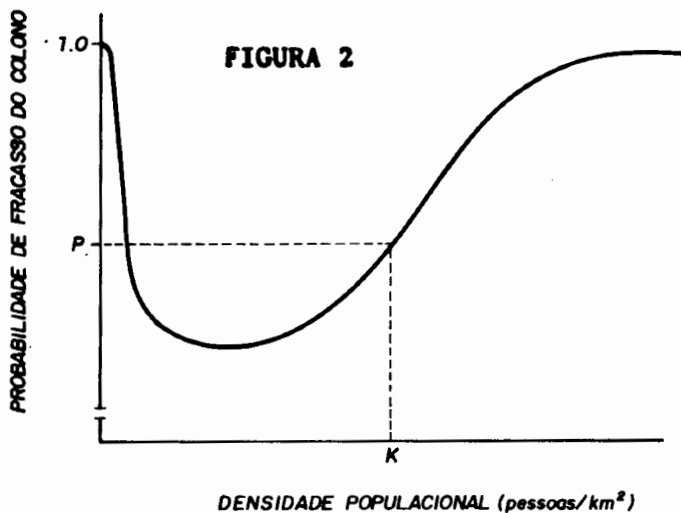
Bayliss-Smith (3) fez uma contribuição significativa na abordagem da capacidade de suporte de maneira que podia prever resultados utilizáveis por planejadores. O método de Bayliss-Smith também permite a estimativa daquilo que ele denomina de "capacidade de suporte percebida", que é uma quantidade que se acredita ser mais relevante, à explicação do comportamento humano, que é a capacidade de suporte baseada na aptidão do meio ambiente em abastecer o sustento a um dado nível durante um período indefinido. O enfoque de Bayliss-Smith é sobre a relação entre a intensificação agrícola, insumos de mão-de-obra e saída de produtos, sendo o passo crítico a construção de um gráfico da

produção por homem-hora versus a produção por hectare. A produção por hectare é alta a níveis baixos de produção por homem-hora, porém após um ponto crítico, esta cai a um nível mais baixo na medida em que a produção por homem-hora aumenta. A capacidade de suporte corresponde ao ponto na curva onde a produção por hectare começa a cair subitamente com o aumento da produção por homem-hora. O Método vai além do cálculo de uma única capacidade de suporte: produz-se uma matriz de valores para o insumo de mão-de-obra por pessoa produtiva, que é necessária para sustentar uma população, a uma série de densidades populacionais abaixo da capacidade de suporte e a uma série de níveis de consumo acima do valor de "subsistência" usada para definir a capacidade de suporte. Uma matriz deste tipo tem valor óbvio para planejadores contemplando o efeito de diferentes densidades populacionais sobre o consumo e o tempo livre.

Bayliss-Smith (3, p. 62) deixa claro que seu método dá ênfase ao tempo livre e ao excedente de produção, e deixa fora alguns fatores, tais como, a variabilidade nas produções das culturas e nas necessidades de mão-de-obra. As escolhas dele parecem ser apropriadas para as Ilhas Fiji, o local do projeto UNESCO do qual o seu trabalho faz parte. Diferenças significativas entre Fiji e a Transamazônica fazem com que outras escolhas sejam apropriadas para o atual estudo. A taioba (*Colocasia spp.*), que forma a base da dieta dos agricultores na Fiji, pode ser esperada a produzir safras relativamente estáveis de um ano para outro e de um agricultor para outro, como é o caso para a maioria das culturas de tubérculos nas áreas tropicais livres de geadas. A variação nas produções é uma grande preocupação para colonos na Transamazônica, cujo arroz de sequeiro é plantado em roças sujeitas a não queimadas e outros perigos. Além disso, o alto valor dado pelos Fijianos ao tempo livre não é compartilhado pelos agricultores pioneiros na Amazônia, fora da observância de domingos e alguns poucos feriados religiosos. A maior parte dos colonos da Transamazônica tomam muito cuidado de sempre dar a aparência de estarem ocupados, e são rápidos a aplicar apelidos insultantes a qualquer um dos seus vizinhos que não esteja visivelmente ocupado. Portanto, o atual estudo da Transamazônica tem dado a sua maior ênfase sobre a variabilidade nas produções das culturas, e nos muitos fatores que afetam estas produções.

No atual estudo, um modelo chamado "KPROG2" simula o agro-ecossistema dos colonos, estimando a capacidade de suporte sustentável sob diferentes hipóteses. A capa-

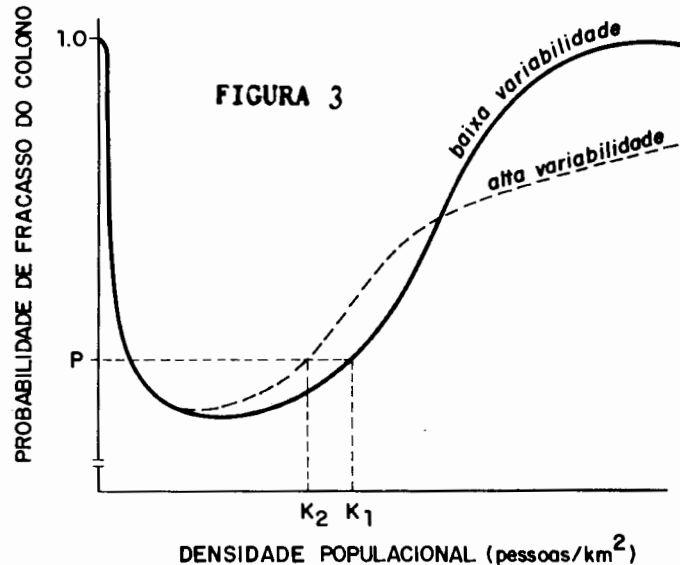
cidade de suporte está definida, operacionalmente, em termos de um gradiente de probabilidade de fracasso do colono com o aumento da densidade populacional. As probabilidades de fracassos são tomadas como sendo índices sustentáveis de fracasso durante um longo período de anos, ou seja, índices que não estão sujeitos a tendências de mudanças ao longo do tempo. Os critérios culturais seriam usados para definir "fracasso" (definido como queda abaixo dos níveis mínimos de consumo especificados para calorias, proteínas totais, proteína animal e dinheiro). A capacidade de suporte é a densidade populacional na qual este gradiente excede a probabilidade de fracasso máximo aceitável, definido culturalmente (Figura 2).



Poderia ser esperado o aumento da probabilidade de fracasso do colono na medida em que se eleva a densidade populacional, dentro de uma dada faixa de alta densidade. A densidades muito baixas, a probabilidade de fracasso também aumentaria, devido à falta de infraestrutura e dos benefícios de intercâmbio existentes em uma sociedade mais ampla. A capacidade de suporte está tomada como sendo o valor de densidade populacional, do qual cai na parte do perfil de probabilidade de fracasso, cujo declive é positivo.

Uma das características mais notadas da agricultura na Transamazônica, como também em muitas outras áreas tropicais, é a variabilidade acentuada na produção entre anos e entre agricultores. O fato de as metodologias existentes de estimativas de capacidade de suporte darem enfoque sobre agricultores de condições "médias" é visto como uma grande limitação sobre a utilidade destes métodos. O objetivo principal do atual estudo tem sido a investigação das maneiras em que a variabili-

dade afeta a capacidade de suporte. A relação hipotética, apresentada na Figura 3, indica a expectativa de que dentro da faixa que inclui a capacidade de suporte, a probabilidade de fracasso do colono será elevada por aumento na variabilidade.



Além de fortalecer nosso entendimento da base teórica da estimativa da capacidade de suporte, por exemplo através da avaliação dos efeitos de variabilidade em rendimentos de colheitas e outros fatores, o objetivo final de tais esforços de modelagem é de produzir estimativas de capacidade de suporte suficientemente seguras para uso de planejadores governamentais. As estimativas da capacidade de suporte são importantes, pois a degradação ambiental, resultante de ultrapassagem da capacidade de suporte, poderá ser evitada.

O estudo atual pretende colocar o assunto de capacidade de suporte apenas no contexto dos tipos de sistemas agrícolas atualmente em uso ou sendo contemplados para a área de colonização da rodovia Transamazônica. Dentro do contexto destes tipos agrícolas, são incluídas margens para mudanças tecnológicas, não sendo, no entanto, consideradas formas de tecnologia completamente diferentes, tais como centros urbanos apoiados por tecnologia industrial.

## ESTRUTURA DO MODELO

### SETORES DO MODELO

O programa KPROG2 pode, à primeira vista, parecer um vasto labirinto de 63 subprogramas repartindo informações através de 62 regiões COMMON rotuladas diferentemente. Na realidade, a estrutura causal essencial do programa pode ser visualizada bem simplesmente

a partir do arranjo de setores dentro dos quais várias partes podem ser agrupadas. O agro-ecossistema age como um filtro mapeando informações sobre recursos iniciais em termos de capacidade de suporte. As informações de entrada do sistema, na forma de variável tempo, qualidade do solo, tipos de colono, etc., entram em cálculos, que posteriormente resultam em valores para a capacidade de suporte. O agro-ecossistema responde às condições iniciais dentro do contexto dos processos ecológicos e sociais incluídos no modelo; muitos destes processos agem como amortecedores que protegem a população de colonos contra os efeitos da variabilidade nos parâmetros de entrada.

O setor alocação de recursos ou do uso da terra modela decisões relacionadas a quantidade da área destinada a cada cultura ou combinação de culturas (20). Estas decisões naturalmente afetam períodos de pousio (descanso) da terra e outros itens relacionados com a fertilidade do solo. O setor de produção agrícola calcula quanto de cada cultura é colhido baseado em áreas plantadas, fertilidade do solo e muitos outros fatores que influenciam o rendimento. A produção resultante para o lote é então alocada entre vários usos possíveis no setor de alocação de produto, incluindo consumo e investimento no desenvolvimento do lote. As quantidades de produtos consumidos contribuem na manutenção da população quando o setor populacional está funcionando no modo dinâmico, isto é, o crescimento populacional é sustentado pelo consumo adequado e níveis menores de consumo levam a taxas de mortalidade maiores (\*1). A população, por sua vez, influencia a alocação do uso da terra; com maiores famílias tem-se tanto a capacidade para o desmatamento aumentada por causa da maior disponibilidade de mão-de-obra familiar, como também uma demanda mais alta de produção de culturas de subsistência. As informações são tomadas de vários pontos, neste processo de cálculo, para computar a capacidade de suporte. A capacidade de suporte é apenas algo calculado a partir de resultados de saída, não uma variável interna do programa entrando explicitamente em qualquer dos cálculos no agro-ecossistema.

No setor de produção agrícola, as condições meteorológicas afetam a qualidade do solo, tanto através de sua influência na qualidade da queimada, como na erosão. A qualidade do solo, por sua vez, é um dos vários fatores que afetam o rendimento das culturas. Os rendimentos dos pedaços individuais de terra, quando multiplicados pelas áreas dos pedaços e feito o somatório de todos os pedaços no

lote, nos dão a informação da produção do lote passado ao setor de alocação de produto.

Algumas das principais relações causais são resumidas na Figura 4. Os mesmos fatores podem ser vistos na representação mais completa da Figura 5.

Os sinais indicam a natureza de muitos dos efeitos, embora nem todas as relações são de natureza monotônica nem contínua. Algumas variáveis categóricas e efeitos probabilísticos também são incluídos (linhas pontilhadas).

### SEQÜÊNCIA DOS CÁLCULOS

Na execução do programa, os subprogramas são agrupados pelo tamanho da unidade à qual se aplicam, em vez de serem agrupados pelo setor do programa definido pelas principais relações causais. As alças principais do programa (Figura 6) agrupam os cálculos em operações feitas para cada pedaço de terra, aquelas feitas para cada lote e aquelas feitas uma vez por ano para a comunidade inteira.

Os conjuntos adicionais de alças semelhantes dentro das sub-rotinas de geração das condições iniciais e dentro do setor de alocação do uso da terra não são mostradas aqui. As estatísticas referentes ao total da área simulada são computadas para várias medidas, após cada ano de simulação. Estas medidas são impressas como saída, permitindo o cálculo da capacidade de suporte baseado nos padrões estabelecidos para os diversos critérios, e incluem, tanto informações sobre consumo (tais como calorias, proteína total, proteína animal e padrão de vida em termos de dinheiro per capita), como também medidas de qualidade ambiental (tais como a proporção da área desmatada e as médias referentes à área total para níveis de nutrientes no solo para terras sob diferentes usos).

As operações em andamento em cada um dos principais níveis mostrados na Figura 6, estão agrupadas por setor de programa na Tabela 1.

### CARACTERÍSTICAS DO MODELO KPROG2, DE CAPACIDADE DE SUPORTE.

O modelo KPROG2 é desenhado para diminuir a falta de confiabilidade, na estimativa da capacidade de suporte, devido a suposições restritivas existentes em outros métodos (28). Como características do modelo KPROG2 podem ser delineadas as seguintes:



## FATORES LIMITANTES MÚLTIPLOS

A possibilidade para fazer determinações da capacidade de suporte, baseadas em fatores limitantes múltiplos, está incluída no programa. As probabilidades de fracasso do colono são computadas separadamente na base de calorias, proteína total, proteína animal, dinheiro per capita, dinheiro por família, e proporção de área desmatada. A probabilidade combinada de fracasso baseada nas medidas per capita é também um resultado. As probabilidades de fracasso são as proporções dos anos-colono durante os quais os padrões mínimos de consumo não são atingidos.

## FATORES DINÂMICOS

Os ajustamentos para representar mudanças tecnológicas são feitos de duas maneiras: 1) o melhoramento gradual do rendimento base de diferentes culturas, a partir de melhores variedades de sementes, durante intervalos específicos de anos e 2) mudanças de padrões de comportamento no uso da terra, por exemplo uma troca de culturas anuais para estratégias de pecuária ou de culturas perenes, baseadas em substituições na população dos colonos,

Um setor populacional flexível está incluído. Um ponto de decisão permite que as operações sejam feitas com uma população "congelada" com o tamanho de cada família fixo a um valor médio, para que tamanhos diferentes dos lotes possam ser simulados, para computar probabilidades sustentáveis de fracasso do colono a densidades populacionais específicas. A capacidade de suporte é, então, estimada através de gráficos dos resultados de várias execuções semelhantes a curva hipotética da Figura 2. Alternativamente, o setor populacional dinâmico pode ser ativado, onde os processos demográficos prosseguem, para produzir mudanças populacionais.

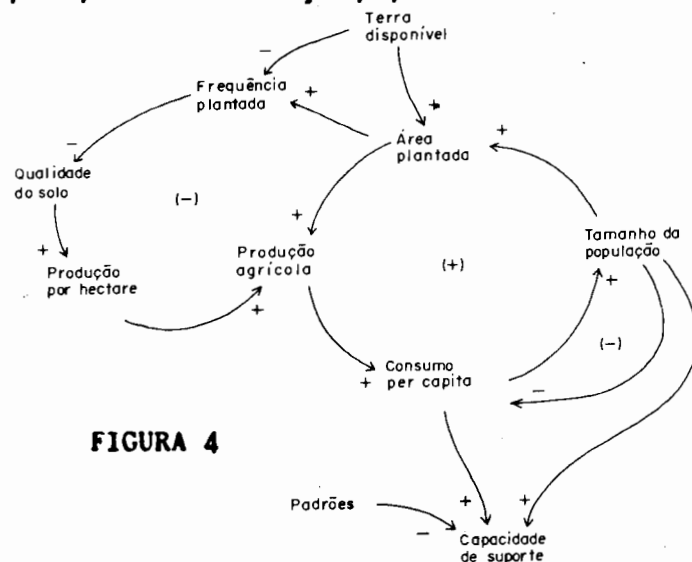


FIGURA 4

## MUDANÇAS NA QUALIDADE DO SOLO

A qualidade variável do solo inicial é gerada a partir duma matriz de Markov, que representa as probabilidades de transição entre níveis de vários nutrientes, devido a deslocamentos entre lotes ou entre pedaços de terra dentro de um lote (24, 32). As correlações realmente existentes entre os nutrientes no solo da floresta virgem são mantidas nos valores simulados de qualidade do solo.

As qualidades de queimada são variáveis. Queimadas boas ou más são preditas por data de corte e de queima (39), junto com padrões meteorológicos que são gerados para reproduzir as distribuições observadas para três tipos de variabilidade: de dia-em-dia, entre anos secos e chuvosos, e épocas chuvosas adiantadas e tardias (26, 33).

A erosão é predita para terra em diferentes usos, através de regressões baseadas na precipitação pluviométrica e no declive (20). O efeito da erosão na qualidade do solo está incluído, em contraste com muitos estudos que fazem a presunção tácita de que a degradação do solo não ocorre.

O tempo de descanso (pousio) da terra é livre e pode variar de acordo com os padrões observados entre colonos reais (21, 32), ao invés de ser restrito artificialmente ao período correspondente a total recuperação da qualidade do solo. Podem ser feitos, também, execuções com períodos de descanso da terra, de diferentes durações.

As mudanças no solo são computadas e guardadas separadamente para cada pedaço de terra, criando um mosaico de pedaços em diferentes estágios de degradação e regeneração. Os efeitos de queima sobre o solo são computados separadamente para três tipos de queimadas: floresta virgem, capoeira (crescimento secundário) e ervas daninhas (palhada). Os efeitos das queimadas de floresta virgem ou de crescimento secundário dependem da qualidade da queima. São também incluídos os dias gastos em diferentes usos da terra e os níveis de nutrientes do solo. As mudanças no solo sob pastagem são computadas separadamente (22). Os insumos fertilizantes e calcário são incluídos para cacau e pimenta-do-reino, com os cálculos apropriados de probabilidades de adubação, dosagem e ajustes de dinheiro.

FIGURA 5

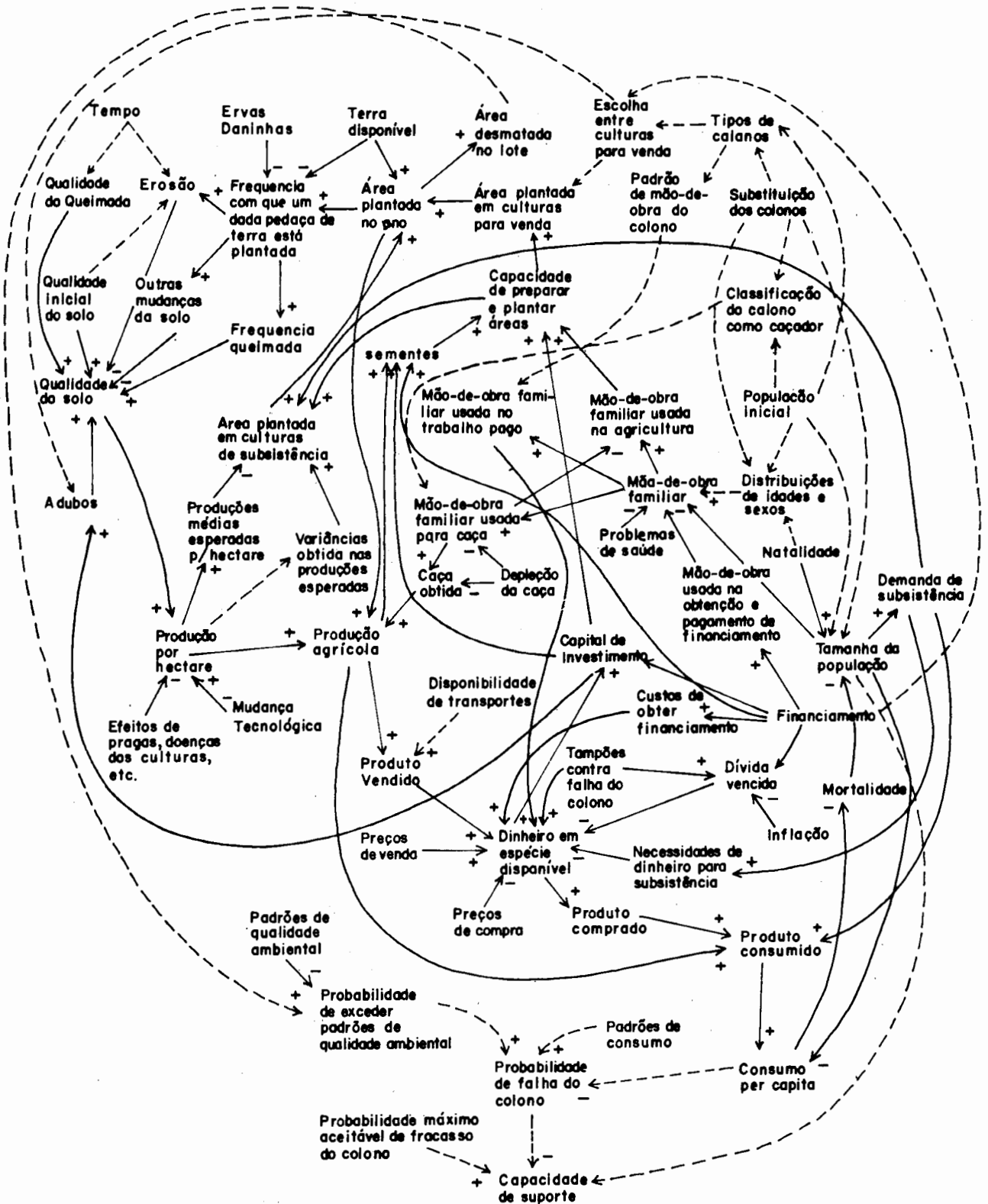
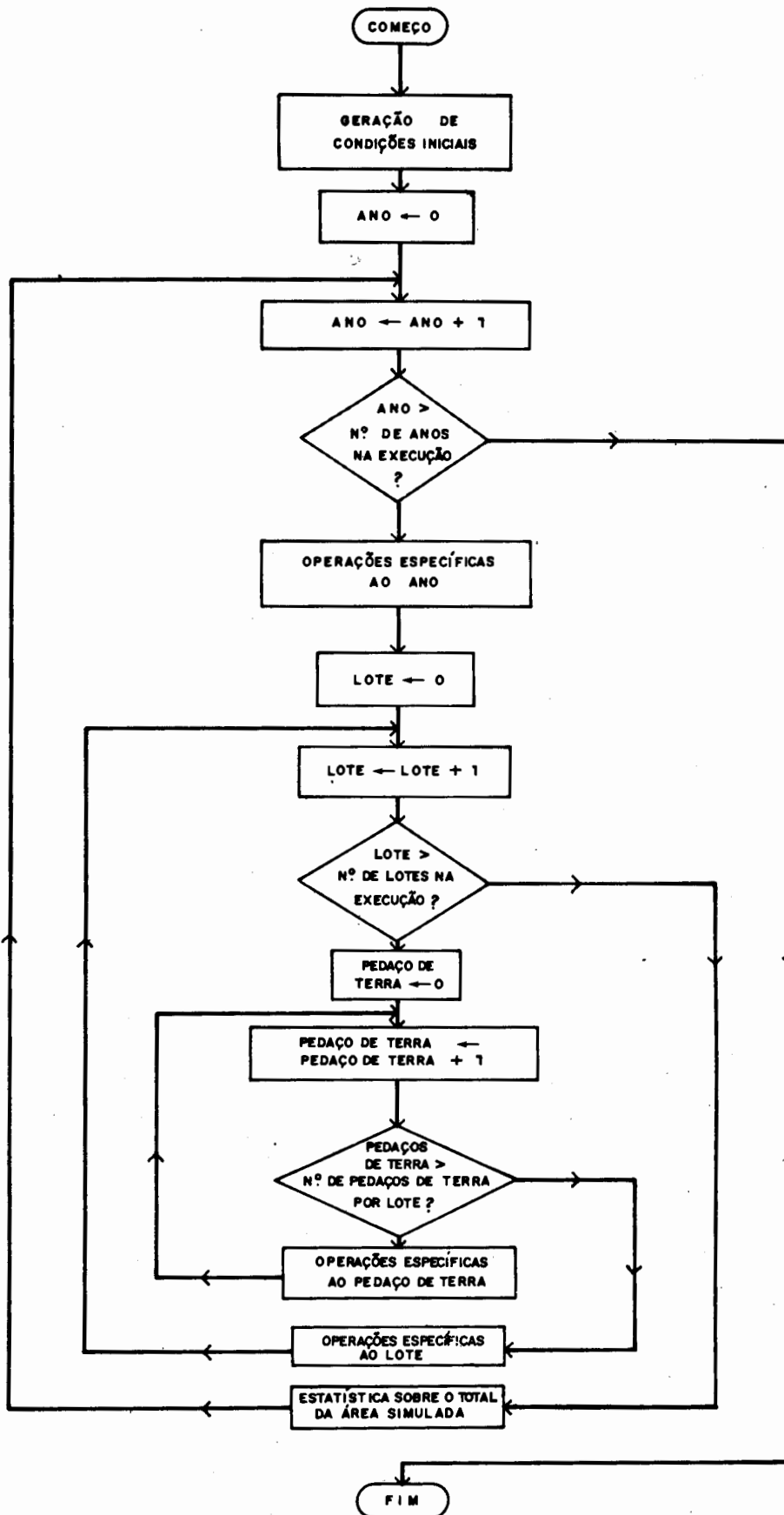


FIGURA 6



## PRODUÇÃO AGRÍCOLA

A produção das culturas são preditas através de previsões que reproduzem a variabilidade resultante de diversas causas. A produção das culturas são preditas, primeiro, a partir de regressões de rendimento com nutrientes no solo e outros fatores, onde o número de observações o permita, para arroz de sequeiro, milho, feijão do sul (*Phaseolus vulgaris*), feijão da praia (*Vigna sinensis*), mandioca brava, macaxeira, cacau, pimenta-do-reino e pastagens (16, 17, 23, 38). A densidade de plantio e a densidade de culturas consorciadas são geradas a partir das frequências observadas e incluídas como variáveis independentes nos modelos de regressão para arroz, milho e feijão do sul (*Phaseolus vulgaris*). Efeitos não inclusos diretamente nos modelos de regressão (tais como as doenças das culturas, acamamento, pragas de insetos e vertebrados, baixo poder germinativo das sementes e aqueles efeitos de variedade de cultivar não incluídos nas regressões em si) são incorporados às regressões através de multiplicadores gerados para esta finalidade, que são expressos como proporções das produções preditas pelas regressões. A variabilidade restante não explicada é gerada a partir do desvio padrão da estimativa e da regressão. As produções são primeiro calculadas como proporções de um rendimento base, representando o rendimento para a cultura obtida em ensaios na estação agrícola experimental na área. Ajustamentos para representar os estragos de produtos armazenados são incluídos após a conclusão do cálculo das produções simuladas.

As doenças incluídas no modelo são, duas para a cultura de cacau, uma para pimenta-do-reino e uma para o feijão do sul (*Phaseolus vulgaris*). A epidemiologia das doenças é reproduzida para representar, tão realisticamente quanto possível, o padrão de disseminação através de uma área tal como a rodovia Transamazônica. As doenças de culturas têm repetidamente demonstrado o seu potencial de devastar safras, inclusive estas, em grandes áreas.

As fontes de proteínas de origem animal são modeladas com cuidado especial. A carne obtida da caça não é presumida de ser colhida de maneira sustentável, mas é colhida de acordo com o censo de caça abatida pelos colonos de status "caçador" ou "não-caçador", baseado nas frequências existentes destes dois tipos culturais distintos, baseado em dados de Smith, (57). O excedente de carne de caça, se houver disponível, é vendido a outros lotes dentro da comunidade simulada. A proteína animal é também obtida de galinhas, que são

alimentadas com milho. O déficit não suprido pela produção do lote e pela compra de caça dentro da comunidade são compensados por compra de carne ou peixe enlatados ou secos, de fora, se houver o dinheiro suficiente disponível.

A alocação no uso da terra inclui 20 possíveis combinações de culturas, e mais quatro usos adicionais da terra sem safras (25).

## COMPORTAMENTO ECONÔMICO DO COLONO

São incluídos tipos variáveis de comportamento do colono, evitando a suposição de idêntico comportamento num padrão "médio". Os colonos são classificados em quatro tipos, derivados de uma tipologia proposta por Moran (50, 51) (\*2). Os valores iniciais, que são gerados de acordo com o tipo de colono, incluem informação demográfica, capital inicial e bens duráveis. Uma seleção entre quatro possíveis estratégias de desenvolvimento de lotes e quatro padrões de trabalho externo são também baseados nas probabilidades específicas a cada tipo de colono.

A variedade de estratégias dá grande flexibilidade na representação do comportamento da população de colonos. Quando há substituição de colonos na população, naturalmente, opções diferentes serão assumidas, entre as possíveis combinações de estratégias, com relação à população inicial. O tipo de colono também influencia na alocação do produto, tanto entre investimentos e consumo, quanto entre compras de bens duráveis e não duráveis.

A disponibilidade de mão-de-obra é simulada para que a quantidade de terra, que poderia ser desmatada e cultivada com culturas diferentes seja limitada, ao invés de a mão-de-obra ser presumida como suficiente para a derrubada de toda a área necessária. Suplementos à mão-de-obra familiar através de trabalhadores pagos estão também incluídos, com restrições apropriadas nas quantias de capital alocadas, por cada família, para investimento no desenvolvimento do lote. A disponibilidade de mão-de-obra é modelada para refletir os efeitos de várias doenças humanas. As probabilidades de doenças são calculadas a partir dos dados de Smith (57). A pequena mas importante probabilidade de os membros-chave da família ficarem doentes na época de derrubada, plantio ou colheita não é incomum como um tipo de "golpe de misericórdia" para a produção agrícola.

Os intercâmbios com a economia mercantil são modelados com algum detalhe. Os preços de compra e venda de produtos variam de um ano para outro: os preços são gerados no

início de cada ano simulado, utilizando as médias e desvios padrões estabelecidos como informações iniciais. Os gastos em dinheiro com implantação e manutenção de culturas são incluídos no setor de alocação de recursos. O suprimento de sementes pelo governo está também incluído quando apropriado. Os detalhes do sistema de financiamento, incluindo juros, prazos de pagamento, probabilidades de financiamentos e critérios de elegibilidade são especificados para 12 tipos de empréstimos (25). A providência de financiamento, no caso da rodovia Transamazônica, representa um pesado subsídio governamental do desenvolvimento na área. Do ponto de vista do colono individual, entretanto, a burocracia e os custos escondidos do sistema de crédito podem representar um encargo que, freqüentemente, faz da agricultura um negócio de rentabilidade negativa (6, 70). O efeito da inflação está incluído com respeito ao pagamento de débitos. A disponibilidade de transportes para levar as colheitas ao mercado também está incluída, já que, para muitos colonos cujos lotes eram localizados nas estradas vicinais, este era um grande problema durante os primeiros anos de colonização. São feitos ajustamentos para melhorias de condições de transporte, com o decorrer do tempo.

São incluídas, também, fontes de renda não agrícolas. Renda em dinheiro, de trabalho externo, freqüentemente é um fator crítico para colonos, e quatro diferentes tipos de trabalho estão modelados: trabalho braçal de remuneração diária, empreendimentos particulares, empregos governamentais ou profissionais e cônjuges ou filhos que trabalham. Os colonos simulados podem investir em pequenos empreendimentos tais como mercearias ou veículos tipo pick-up.

Em vários pontos do modelo estão incorporados tampões contra o fracasso do colono. A alocação do uso da terra é feita com uma margem de segurança para a variabilidade de rendimento para cada cultura com a sua probabilidade implícita de fracasso. A margem de segurança é baseada na estatística "z" de risco máximo aceitável do fracasso dos colonos (uma das informações iniciais, ou parâmetros de entrada) e a variabilidade esperada na produção da cultura. Uma função de aprendizagem permite que os colonos simulados baseiem suas decisões na experiência acumulada com rendimento de cultura na área simulada, incluindo tanto a média como a variância de tais produções. A alocação do colono às culturas de subsistência segue assim as tendências passadas nos rendimentos das culturas, dentro dos limites disponíveis de mão-de-obra, capi-

tal e semente, provendo uma proteção contra variabilidade nas produções. Quando produções insuficientes são obtidas para determinadas culturas, o colono simulado pode comprar as quantidades de subsistência desejadas do produto com dinheiro ganho através da venda de culturas comerciais ou de outras fontes, tais como, dinheiro ganho em trabalho externo, venda de bens duráveis ou de empréstimos privados. Isto é, se o colono tem sorte suficiente para conseguir um. A diversidade das culturas plantadas também prevê alguma medida de proteção contra a possibilidade de fracasso da safra devido a um rendimento pequeno para qualquer cultura específica.

O sumário anterior das características do KPROG2 está longe de ser completo. O programa e a sua documentação são apresentados em outra publicação (18).

As sub-rotinas do "setor agrícola" do KPROG2 estão também incorporadas em programa menor, com pequenas, mas necessárias modificações, para produzir simulações de rendimentos das culturas sem a complexidade adicional necessária para traduzir tais rendimentos em valores da capacidade de suporte humano. A simulação agrícola, "AGRISIM", requer que tanto as decisões do uso da terra como os períodos de cultivo e de descanso no caso de culturas anuais, sejam introduzidas no terminal quando cada execução é feita.

## MÉTODOS DE MODELAGEM

A simulação KPROG2 é escrita inteiramente em FORTRAN-IV nível-G, utilizando o Michigan Terminal System (MTS) como sistema operacional (The Michigan Terminal System, 1976). As simulações foram executadas no computador Amdahl 470V/6 da Universidade de Michigan, cujo software é compatível com o do IBM 370.

Várias execuções foram feitas para testar a sensibilidade dos resultados da simulação com a mudança nos parâmetros de entrada, muito embora, uma série completa de testes de sensibilidade não tenha sido feita. O "tamanho do pedaço" (áreas pequenas de terra simulada) usado para guardar informações sobre solo e uso da terra, por exemplo, foi achado como tendo repercussões no setor de alocação do uso da terra, às vezes fazendo a diferença entre "sucesso" e "fracasso". Após alguma experimentação, um tamanho de pedaço de 0,25 ha foi selecionado como um compromisso razoável entre a economia de tempo de computador e o comportamento imparcial do modelo para todas as execuções a serem usadas na estimativa de capacidade de suporte (\*3).

No caso de parâmetros tais como o tamanho de pedaço, que são aspectos puramente arbitrários na construção do modelo em vez de representações de dados sobre a realidade, os ajustes têm sido feitos para evitar comportamento irreal, que seria um artefato dos modelos de computador. Os parâmetros para fatores que representam a realidade não foram burlados para alterar resultados da simulação, em contrastes a muitos modelos existentes de sistemas humanos.

Um dos pontos de decisão do KPROG2, determinado interativamente ao início de cada execução, seleciona entre operações estocásticas ou determinísticas. Execuções determinísticas provêm de um padrão contra o qual os resultados estocásticos podem ser comparados. As execuções estocásticas em si são também completamente reproduzíveis por meio da reutilização do valor inicial servindo como uma "semente" por geração de um número pseudo-aleatório.

## RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

### FONTES DE DADOS

A maior parte dos dados usados como parâmetros de entrada, nas execuções apresentadas aqui, foram derivados ou a partir de observações ou de entrevistas, na área de estudo Intensivo. Os dados sobre os solos foram derivados de uma série de 903 amostras superficiais (0 - 20 cm de profundidade), e de 151 perfis (0 - 120 cm de profundidade). Os dados sobre solos dão informações sobre as propriedades dos solos antes do desmatamento, as mudanças que ocorrem sob diferentes tratamentos, e as relações da qualidade do solo com produções nas roças da maioria das culturas. Utilizando questionários referentes ao local de cada amostra tirada nas roças dos colonos, foram anotados dados sobre problemas agrícolas, história do local, e produção. Uma sucessão de versões de um outro questionário, aplicado em 131 lotes, foi utilizado para conseguir informações ao nível do lote, sobre a composição e antecedentes das famílias dos colonos, o uso de mão-de-obra paga ou de outras fontes suplementares, recursos financeiros iniciais ou outros desenvolvimentos no lote financiados pelo banco, saúde e outros fatores, afetando a disponibilidade de mão-de-obra familiar, as necessidades de mão-de-obra para tarefas agrícolas, e a história de decisões sobre o desmatamento e sobre o uso da terra. Perguntas detalhadas sobre a alocação do produto, nas primeiras versões do questionário foram sacrificadas, no decorrer do estudo, para aumentar as informações sobre práticas de uso da terra.

Anotações de campo sobre conversas informais com os colonos supriram informações sobre muitos dos itens que não puderam ser incluídos nos questionários formais. Algumas das informações referentes à frequência e valores de financiamentos foram tirados de arquivos governamentais. Dados meteorológicos também foram obtidos de fontes oficiais. As informações destas fontes não foram usadas em outras partes do estudo, pois os dados das minhas próprias entrevistas e observações eram suficientes. As partes do conjunto de dados fornecidos pelo meu trabalho de campo incluíram: solos, queimadas, erosão, produções para arroz, milho, feijão do sul (*Phaseolus*), feijão da praia (*Vigna*), mandioca brava e macaxeira. Dados de produções para cacau, pimenta-do-reino, pastagens e caça, assim como muitos dados do setor populacional, dependeram, principalmente, da literatura.

### EXECUÇÕES-PADRÃO

#### Informações Iniciais para Execuções-Padrão

Várias execuções foram feitas de ambos os programas KPROG2 e o menor AGRISIM. As execuções foram desenhadas para testar os efeitos de diferentes suposições e também para fazer estimativas da capacidade de suporte. A estratégia para fazer a estimativa da capacidade de suporte é de executar o KPROG2 com o setor populacional fixo (no caso do conjunto de parâmetros usado, o tamanho de família para cada lote é sempre seis pessoas). As execuções são feitas com diferentes tamanhos de lotes para conseguir uma variação de densidade populacional sem distorcer as alocações do uso da terra que dependa da composição realística de famílias para cálculos de mão-de-obra familiar. A abordagem alternativa também é possível: variar o tamanho de família enquanto os tamanhos dos lotes permanecem fixos. Com o setor populacional dinâmico ativado, pode-se ver como as tendências da população são afetadas por mudanças internas devido a nascimentos e óbitos e por mudanças na população de colonos como imigração e emigração, tanto de unidades familiares como de indivíduos.

Decidi apresentar os vários aspectos do comportamento do modelo no KPROG2 discutindo uma seleção de resultados de uma execução apenas. Os resultados combinados de cinco execuções estocásticas e de oito execuções determinísticas serão então sumarizados na forma de probabilidades de fracasso do colono, da maneira necessária para estimular a capacidade de suporte, de acordo com a estratégia delineada acima. A execução a ser apresentada é uma execução estocástica com

o setor populacional congelado em seis pessoas por família e um tamanho de lote de 25 ha, correspondendo assim a uma densidade populacional de 24 pessoas/km<sup>2</sup>. Já que a execução aqui descrita é estocástica, o resultado representa apenas um dos vários possíveis resultados para uma área com esta densidade populacional. Outros resultados podem ser gerados por execuções do programa com valores do número inicial de "semente" (para geração de números pseudo-aleatórios) diferentes do valor usado neste exemplo (1113333).

A execução foi feita usando uma comunidade de 10 lotes com 100 pedaços por lote. Por "pedaços" são designadas as pequenas áreas hipotéticas de terra em que os lotes simulados foram divididos, correspondendo aqui a 0,25 ha. Não foi feita restrição nos tipos de famílias de colonos ocupando os 10 lotes simulados.

Os períodos de descanso (pousio) da terra foram também irrestritos, com crescimento secundário da vegetação (capoeira) em diferentes classes de idade, sendo roçado de acordo com as frequências observadas entre colonos reais, possuidores de capoeiras em cada classe. Nesta execução não foram presumidas mudanças nos rendimentos-base das culturas através de melhoria nas variedades de sementes, apesar do programa ter tal capacidade.

O período da execução foi de 25 anos. Para os pequenos tamanhos de lotes aqui simulados, o comportamento do modelo estabiliza bem dentro deste período e execução mais longas não produziriam resultados substancialmente diferentes com o conjunto atual de dados. Execuções mais longas seriam desejáveis do ponto de vista de desencorajar o horizonte de curto prazo que caracteriza muitos planejamentos de desenvolvimento pelo mundo, inclusive no Brasil.

### SAÍDA DE EXECUÇÕES-PADRÃO

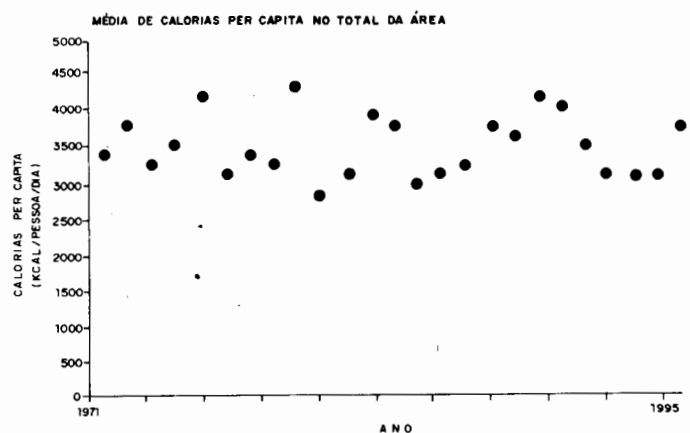
O leitor deve ser avisado de que nenhum dos valores ou datas mostrados na saída do programa representa projeções ou predições para anos específicos. A escala de tempo mostrada nos gráficos de resultados é tencionada apenas como guia para orientar o leitor com respeito às durações dos horizontes de tempo das execuções.

A saída do KPROG2 e as rotinas associadas permitem uma rápida visualização do uso da terra, de rendimentos das culturas e dos níveis de nutrientes no solo. Estes fatores servem como a base que determina o consumo per capita e outras informações usadas direta-

mente para inferir sobre a capacidade de suporte. As proporções de terra alocadas para arroz solteiro ou arroz consorciado com milho, milho solteiro, feijão do sul (*Phaseolus*), feijão da praia (*Vigna*), mandioca brava, macaxeira, cacau, pimenta-do-reino e crescimento secundário estão impressos em gráficos. Os gráficos das médias de rendimentos por hectare referentes ao total da área, são também feitos para cada combinação de culturas, e ainda são feitos os gráficos das médias dos níveis de pH, fósforo, nitrogênio, carbono e fons de alumínio no solo para roças em duas situações: a) limpos (menos de 60 dias sem cultivo) ou plantados com culturas anuais; e b) separadamente para campos com outros tipos de usos da terra. Estes resultados intermediários são volumosos demais para serem aqui incluídos, mas podem ser vistos em outra publicação (15).

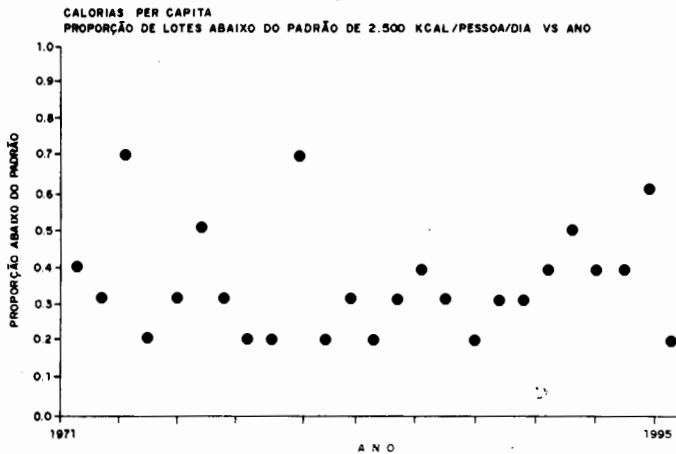
O conjunto de figuras que se seguem apresenta um exemplo das medidas de consumo usadas para o cálculo da capacidade de suporte humano. Médias referentes à área como um todo para o consumo de calorias per capita de colonos, simulados em cada ano (Figura 7), indica que o colono médio é muito bem alimentado no que diz respeito a calorias. O nível alto de consumo de calorias não é uma surpresa, dada a disponibilidade de fontes de calorias da mandioca e outras culturas de raízes.

FIGURA 7



Apesar das altas médias para a população como um todo, lotes individuais podem facilmente cair abaixo do mínimo de 2.500 calorias/pessoa/dia, especificado nos parâmetros de entrada (Figura 8).

FIGURA 8



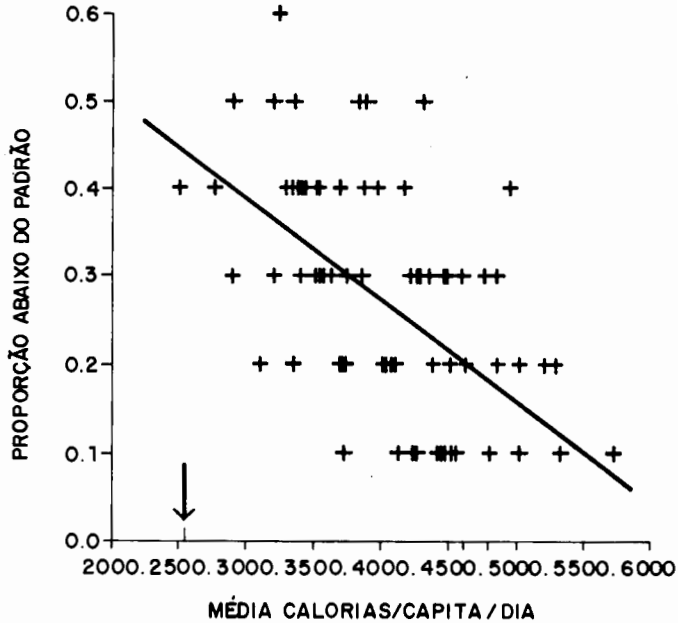
A saída do programa inclui gráficos de médias semelhantes, referentes à área como um todo e de proporções de colonos fracassando, baseado em critérios para proteína total, proteína animal e padrão de vida expresso em dinheiro por família e per capita (15). Os colonos simulados estão conseguindo, grandes quantidades de proteína total, consequentemente baixas taxas de fracasso, baseado neste critério, por razões relacionadas às prioridades de alocação do produto usadas no modelo. As quantidades de proteína total consumida pelos colonos simulados são maiores do que aquelas consumidas pelos colonos reais da rodovia Transamazônica, apesar do total do consumo real de proteína ser alto em comparação com muitas áreas em desenvolvimento.

O consumo de proteína animal é muito mais baixo em relação ao de proteína total e é mais representativo da situação real na rodovia Transamazônica, apesar de mesmo esta ser otimista por razão de altas prioridades colocadas em proteína animal na alocação de produto e por razão de mudanças de solo e superdependência dos rendimentos culturais no pH. O padrão usado para proteína total foi 38 g/pessoa/dia, e para proteína animal foi 25 g/pessoa/dia (\*4). O critério usado para o padrão expresso em dinheiro per capita foi Cr\$554,40/pessoa/mês, (\*5) ou seja, um sexto do dinheiro por família correspondente a um salário mínimo por mês.

A possibilidade de incluir padrões de qualidade ambiental em adição aos critérios de consumo, é considerado como um aspecto particularmente útil destes modelos. Os colonos simulados desmatam rapidamente toda a área de seus lotes de 25 ha nesta execução. O máximo de 50%, decretado pelo governo, é ultrapassado por todos os colonos simulados dentro de poucos anos.

A importância da variabilidade nos níveis de produção e consumo entre lotes é indicada por resultados de várias execuções estocásticas (Figura 9).

FIGURA 9



Aqui, proporções de fracassos dos colonos, referentes a anos individuais, são mostradas em gráficos versus médias, referentes à área como um todo para os mesmos anos. Se a produção da área fosse distribuída uniformemente, entre todos os colonos simulados, a probabilidade de fracasso seria 0,0 para valores abaixo do padrão mínimo usado, e 1,0 para valores superiores a este ponto. Os resultados desviam deste padrão, com uma proporção significativa dos colonos, fracassando a valores do consumo médio, referentes à área como um todo, bem acima dos níveis mínimos. Calorias são aqui usadas como um exemplo; padrões similares foram encontrados para proteína total, proteína animal, dinheiro per capita e salários mínimos por família (15).

As probabilidades de fracasso calculadas em várias execuções feitas com o setor populacional congelado a diferentes densidades, são necessários para estimar a capacidade de suporte, como definida operacionalmente em termos de um gradiente de probabilidades de fracasso do colono. As probabilidades sustentáveis de fracasso do colono têm sido calculadas como a proporção do número total de anos-colono durante os últimos 10 anos destas simulações de 25 anos, nas quais fracassos ocorreram para cada critério. Apenas os últimos 10 anos são usados, já que o com-



portamento do modelo deve ser deixado a esboçar antes que a taxa de fracasso seja calculada. Estas probabilidades de fracasso versus densidade populacional são representadas todas em gráficos, para execuções estocásticas e determinísticas para calorias, proteína total, proteína animal e dinheiro per capita (Figura 10).

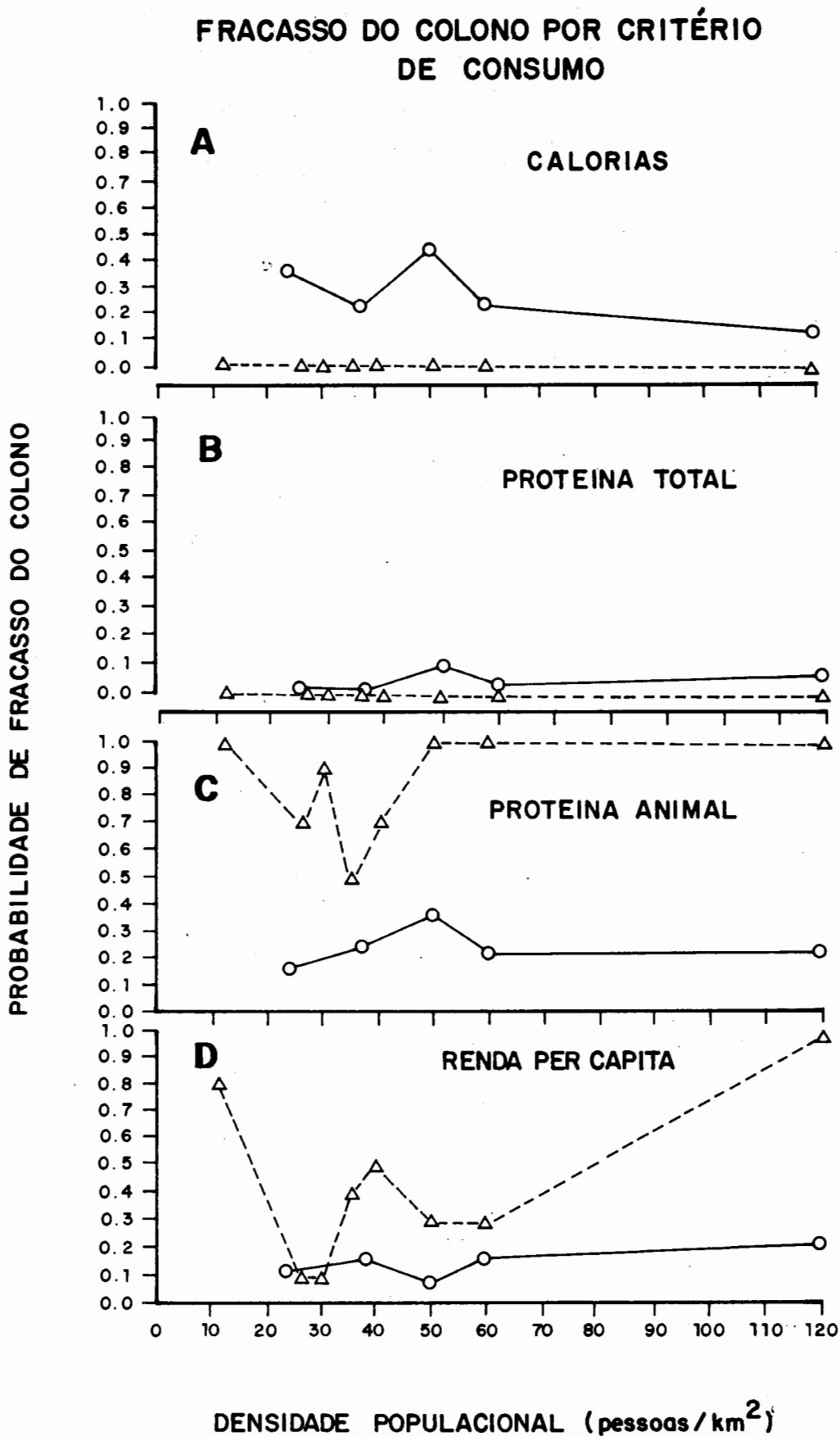
Várias execuções seriam necessárias, a cada densidade populacional, para produzir resultados que reflitam adequadamente o efeito de variações nos rendimentos das culturas e em outros fatores. Tais execuções ainda foram feitas.

No caso de calorias e proteína total, os resultados das execuções estocásticas mostram probabilidades mais altas de fracasso do colono, que as execuções determinísticas, através de toda a faixa de densidades testadas. Isto é devido às probabilidades de fracasso, com respeito a estes dois critérios, em execuções determinísticas, ser zero em toda esta faixa de densidades. Diante o fato de que estes dois critérios são os mais facilmente satisfeitos através da produção do lote, não é surpreendente que as probabilidades de fracasso correspondentes sejam mais baixas que para proteína animal e dinheiro. As curvas estocásticas são mais altas, já que alguns fracassos ocorrem mesmo em critérios mais facilmente satisfeitos quando produções por hectare variam de uma maneira mais realista, representada pelas execuções estocásticas. Um resultado diferente é obtido para a maioria das densidades nos casos de proteína animal e dinheiro per capita. Aqui as taxas de fracasso para as execuções determinísticas são muito mais altas que para calorias ou proteína total. A obtenção de proteína animal no lote, através de caça ou de criação de galinhas, que são alimentadas com milho e com forragens disponíveis no quintal do colono, é normalmente insuficiente. Portanto, suplementos comprados com dinheiro são necessários. Quando colheitas pobres resultam em quantias de dinheiro restritas, o colono não pode preencher as necessidades de proteína animal comendo sua safra de tubérculos ou outros substitutos facilmente disponíveis. Em densidades populacionais acima de 40 pessoas/km<sup>2</sup>, a taxa de fracasso anual, em execuções determinísticas, é igual a 1,0. Quando a variabilidade em produções por hectare é introduzida em execuções estocásticas, boas colheitas são obtidas por alguns colonos, em pelo menos alguns dos anos simulados. O resultado é uma taxa reduzida de fracasso nestes casos.

## DESVIOS DOS RESULTADOS ESPERADOS

É aparente que as curvas mostradas na Figura 10 não demonstram o aumento contínuo na probabilidade de fracasso do colono, na medida em que a densidade cresce, como antecipada originalmente (Figura 2). Várias razões existem para as diferenças. No caso dos resultados para proteína animal e dinheiro per capita em execuções determinísticas, irregularidade nas probabilidades de fracasso resulta em uma depressão destas no meio da faixa de densidades populacionais testadas. A depressão ocorre devido às altas probabilidades de fracasso nos extremos baixo e alto de densidade. À densidades muito altas, a razão para fracasso é a falta de terra suficiente para produzir as quantidades de culturas requeridas. A depressão é atribuível à sincronização do período de pousio (descanso) em execuções onde o tamanho dos lotes faz com que o colono simulado seja capaz de desmatar uma fração desproporcionalmente grande em seu lote no primeiro ano. A grande área desmatada no primeiro ano torna-se, então, não cultivável a um só tempo devido à competição de ervas daninhas. Mais tarde esta área torna-se disponível novamente, também a um só tempo, para roçagem e plantio. O colono simulado falhará durante os períodos quando um grande grupo de pedaços de terra, originalmente derrubados no primeiro ano, não estiver disponível para plantio, mas ele ainda pode ter sucesso em todos os padrões de consumo naqueles anos que este bloco de pedaços estiver disponível. Este padrão pode ser um artefato do procedimento de alocação de terra usado na simulação, já que os colonos reais podem não ser tão imprevidentes em desmatar no primeiro ano uma fração tão grande da área total disponível. Não há evidência no estudo corrente para indicar que qualquer planejamento antecipado aconteça com respeito ao tempo de pousio dentre colonos reais, apesar desta possibilidade não poder ser descartada, diante do fato de os colonos na área em estudo intensivo não estarem operando sob a restrição de lotes de tamanho pequeno, que se aplica aos colonos simulados, em execuções com densidades populacionais altas. Por causa da razão um tanto artificial para a depressão das probabilidades de fracasso, nas densidades intermediárias, são consideradas mais realistas as probabilidades muito altas de fracasso, observadas nas densidades populacionais mais baixas. Nas densidades baixas, os colonos simulados têm suficiente terra virgem disponível para reduzir o impacto de qualquer sincronização nos períodos de pousio.

FIGURA 10



Em execuções estocásticas, alguma variação pode também ser vista entre as probabilidades de fracasso que correspondem a diferentes densidades. Uma parte da variação, indubitavelmente, é devida a diferença entre os colonos simulados e entre os anos: o resultado esperado, onde as decisões são tomadas baseadas nas distribuições observadas de probabilidades, em vez de seguir cadeias fixas de decisões. Se um conjunto diferente de execuções estocásticas tivesse sido feito às mesmas densidades populacionais, valores um tanto diferentes teriam sido encontrados para as probabilidades de fracasso. Em execuções estocásticas, cada ponto mostrado (Figura 10), corresponde à proporção de fracassos ao longo de 10 anos simulados em 10 colonos, ou 100 anos-colono. Tamanhos de amostras muito maiores reduziriam a variabilidade nestes pontos. Uma parte do desvio em relação ao esperado gradiente monotonicamente crescente de fracasso do colono (após a população ter excedido o ponto, onde os efeitos de baixa densidade aumentam as probabilidades de fracasso) é provavelmente devido ao mesmo problema de sincronia de períodos de pousio encontrado no caso determinístico, apesar dos efeitos da sincronia estarem diluídos pela variação em tais períodos, quando se trata de execuções estocásticas. Algumas das baixas probabilidades de fracasso à densidades altas podem ser explicadas pela moderação do efeito de sincronia.

Uma razão para as probabilidades de fracasso mais baixas, à densidade de 120 pessoas/km<sup>2</sup>, afetarem todos os resultados obtidos utilizando versões correntes do KPROG2, está em uma superdependência do pH como um previsor de produção por hectare das culturas. A sustentabilidade da produtividade, em altas densidades populacionais, é por demais otimista devido ao fato de que valores de pH são mantidos a níveis relativamente altos através de sucessivas queimadas. Nos solos bastante ácidos da rodovia Transamazônica, a má qualidade de queima, resultando na elevação insuficiente do pH, têm sido um problema freqüente nos primeiros anos de colonização. O pH tem, na verdade, se mostrado como excelente previsor das produções por hectare de várias culturas. O efeito de pH na produção não é uma simples ação do pH sozinho, mas é relacionada tanto a correlações entre valores de pH e vários nutrientes importantes, como a maior disponibilidade dos nutrientes existentes, para uso pelas plantas, a níveis de pH mais altos. Devido aos pequenos conjuntos de dados disponíveis para a previsão de produções de culturas, o fato é que, durante os primeiros anos de colonização,

o pH do solo ofuscou o efeito de outros nutrientes, assim como escondeu os efeitos físicos e biológicos, isso não implica, necessariamente, que outros fatores não aumentarão sua importância em relação à limitação das produções por hectare com o passar do tempo, independente dos níveis de pH. No caso de densidades populacionais simuladas muito altas, menores intervalos entre períodos de cultivo resultam em queimadas mais frequentes para cada pedaço de terra e, conseqüentemente, um pH mais alto e maiores rendimentos para culturas cujas produções por hectare são previstas, primariamente, ou somente com base no pH. Isto deve ser visto como um resultado da deficiência no conjunto de dados relativos a outros previsores de produções por hectare, em vez de uma representação que poderia realmente ser esperada a ocorrer nestas altas densidades populacionais. A modificação das sub-rotinas para predição de produções não pode ser justificada devido à limitações no presente conjunto de dados.

Além dos desvios das tendências esperadas, discutidas acima, algumas diferenças entre estas curvas e a curva hipotética da probabilidade de fracasso do colono, com um aumento da densidade, podem ser resultados da faixa de densidades mostradas nos gradientes simulados. Desprezados no momento os problemas que levem a rendimentos irrealisticamente altos, deve-se esperar que todas as curvas subam até uma probabilidade de fracasso de 1,0 a uma densidade populacional extremamente alta, localizada fora das figuras em vários casos. Na realidade, o ponto atingido pela curva de densidade populacional seria, provavelmente, mais baixo do que indica a Figura 10. A questão de maior interesse é a que acontece nas densidades populacionais mais baixas, com as curvas de probabilidade de fracasso? Para execuções estocásticas, que são mais realistas que execuções determinísticas, a probabilidade de fracasso parece estar, pelo menos, sugerindo uma queda, em se tratando de densidades populacionais baixas, dinheiro e proteína animal, que são os critérios mais sensíveis entre os quatro critérios de consumo per capita. A variabilidade dos resultados em execuções estocásticas torna impossível qualquer conclusão firme neste ponto, sem um grande número de execuções. Uma coisa é clara: mesmo com a dependência de pH e outros aspectos inerentes ao programa, como constituído presentemente, tendendo a produzir resultados demais otimistas, as probabilidades de fracasso, mesmo às mais baixas densidades simuladas, são bem altas para a maioria dos critérios. Deve ser lembrado que as probabilidades de fracasso mostradas na

Figura 10 são probabilidades anuais, e que uma probabilidade de fracasso de 0,1 ou menos por ano implica em uma alta probabilidade de fracasso, de pelo menos uma vez, dentro de um período de alguns anos. Também deve-se salientar que as curvas mostradas são apenas para critérios individuais. Quando critérios múltiplos são usados simultaneamente, a probabilidade de que pelo menos um dos padrões não seja alcançado é mais alta que a probabilidade correspondente para um critério individual. Por exemplo, na execução estocástica de 24 pessoas/km<sup>2</sup>, para a qual os resultados foram apresentados anteriormente, a mais alta probabilidade de fracasso combinada nos quatro critérios de consumo per capita é 0,47, enquanto a probabilidade de fracasso baseada em critério individual é de 0,36.

## SUPOSIÇÕES ALTERNATIVAS

### PERÍODO DE POUSIO

Muitas suposições foram alteradas em diferentes execuções para julgar o impacto nos resultados de simulações. Entre estas estava o efeito do período de pousio ou alqueive, que pode ser controlado através da alteração das probabilidades de roçagem de capoeira para cada classe etária da terra em descanso. Um período de pousio de seis anos, por exemplo, pode ser forçado, para os colonos simulados através da fixação da probabilidade de corte para todas as classes de idade abaixo de seis anos no valor 0,0 e da probabilidade de corte para todas as classes de seis anos ou mais no valor 1,0. Isto foi feito para várias execuções determinísticas em diferentes densidades populacionais. À altas densidades, um período de descanso da terra de seis anos resultaria em fracassos durante os anos quando o grande bloco de pedaços de terra desmatado no primeiro ano é ainda disponível para plantio, e resultaria em alguns sucessos em outros anos. Não se espera que estas probabilidades de fracasso à densidades altas reflitam probabilidades reais, pelas razões mencionadas anteriormente com respeito ao efeito de sincronia no período de pousio sobre probabilidades de fracasso em execuções determinísticas à densidades intermediárias, com o período de pousio "livre" sendo determinado pelo comportamento observado de corte de capoeira entre os colonos da transamazônica. À densidades

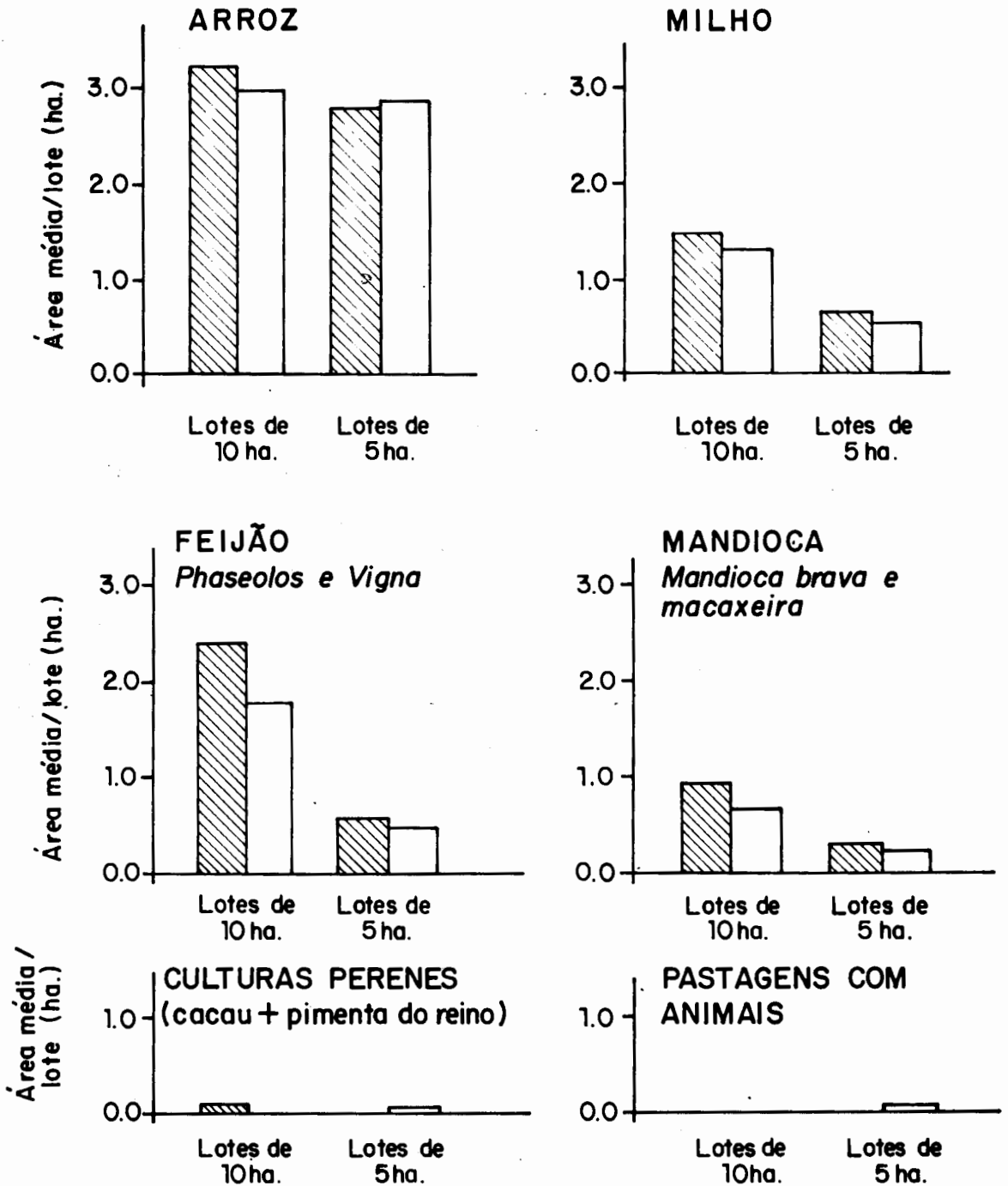
populacionais mais baixas, este fator não seria um problema. A 12 pessoas/km<sup>2</sup>, com o setor populacional congelado como antes (correspondendo ao lote de 50 ha), a probabilidade de fracasso do colono em proteína animal é 0,2, contrastando com a probabilidade de 1,0 para a execução de pousio livre. Em se tratando de calorias e proteína total, ambos resultam em probabilidade zero de fracasso, tanto no caso do período fixo de seis anos de descanso da terra, como no alqueive livre. Probabilidades de fracasso mais baixas para proteína animal e dinheiro per capita, no caso de seis anos de descanso da terra, pode indicar a sabedoria de longos alqueives, correspondendo aos períodos de alqueive encontrados em áreas de cultivos itinerantes tradicionais, onde períodos de descanso da terra muito mais longos são frequentemente usados. A reutilização de crescimento secundário jovem, ou de ervas daninhas como roçada de culturas anuais, pode ser um fenômeno de curta duração na área em estudo (21, 34).

No decorrer de tempo, os colonos podem modificar seu comportamento agrícola, para utilizar mais os métodos de agricultores tradicionais nativos da região amazônica. Moran e Fleming-Moran (52) sugeriram que tal processo de aculturação pode estar ocorrendo entre colonos vindos de outras regiões do Brasil. Como no caso de períodos mais longos de descanso forçado da terra, os efeitos de tais modificações podem ser testados através da simulação.

### TIPOS DE COLONOS

O efeito da alteração da composição da população de colonos foi examinado. Isto é importante devido à relação do tipo de colono com o seu comportamento de alocação do uso da terra (25). Mudanças na alocação do uso da terra causadas pela substituição da população de colonos são de interesse especial devido à importância de tais mudanças para o futuro da área, assim como para muitas conclusões relacionadas à capacidade de suporte humano. A influência da substituição dos colonos pode ser vista através das informações sobre o uso da terra em quatro execuções do KPROG2 (Figura 11) (6\*).

FIGURA 11

**LEGENDA:**

População de colonos com todos os  
4 tipos de colonos



Tipo de colono trabalhador - agricultor  
apenas



No caso das duas execuções com colonos da categoria trabalhador-agricultor apenas, todos os lotes simulados (10 lotes em cada execução) são inicialmente ocupados por trabalhadores-agricultores e, enquanto os processos demográficos procedem normalmente, incluindo imigração e emigração de unidades familiares, todos os colonos recém-chegados são também do tipo trabalhador-agricultor. As diferenças com execuções que incluem todos os quatro tipos de colonos são aparentes. Nas execuções com populações que têm todos os tipos de colonos simulados, a maioria dos colonos originais são substituídos por recém-chegados até o final do período de 10 anos representado na Figura 11. Durante os primeiros três anos deste período, apenas 30% dos colonos originais permanecem. Isto resultará num grande aumento na representação de outros tipos de colonos às custas dos trabalhadores-agricultores.

Nas execuções de simulação com lotes de 10 ha (Figura 11), a população mista planta mais que todos os grupos de culturas de subsistência do que plantam os trabalhadores-agricultores: 15,2% a mais de arroz, 8,9% a mais de milho (com uma correção para a densidade de plantio e condição consorciada), 53,4% a mais de "feijão" (*Phaseolus* e *Vigna* juntos), e 13,4% a mais de "mandioca" (mandioca brava e macaxeira juntas). Este resultado confirma a impressão geral de que trabalhadores plantam roças menores do que outros tipos. O mesmo padrão serve para os lotes de 5 ha, com a única exceção sendo o plantio de arroz, que é um pouco mais baixo na população mista do que no caso de apenas trabalhadores. Aqui, a população mista planta 1,8% a menos de arroz, 22,6% a mais de milho, 20,8% a mais de "feijão" e 28,6% a mais de "mandioca" do que a população de trabalhadores.

As pequenas quantidades de cacau e pastagem indicadas para trabalhadores na execução de lote de 5 ha, em contraste com nenhuma na execução da população mista, provavelmente não representa uma diferença significativa, já que um exame mais minucioso da saída do programa revela que foram apenas alocados por um colono em cada caso, com apenas um pedaço de terra de cacau e dois de pastagem com animais sendo envolvidos.

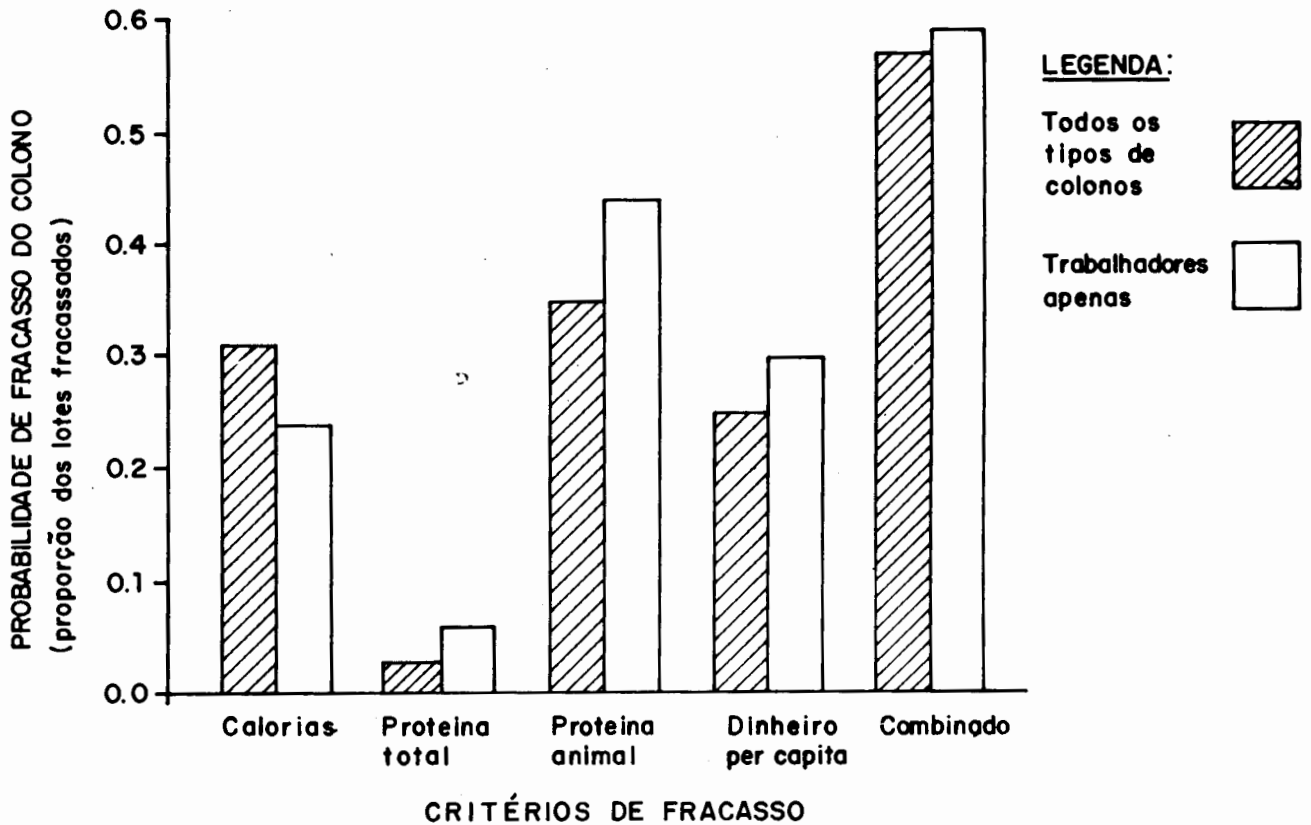
As pequenas extensões de terras alocadas ao cacau, pimenta-do-reino e pasto são evidentes em todas as execuções mostradas na Figura 11. Estes valores são irrealisticamente baixos, especialmente nos casos onde a

população é composta principalmente de recém-chegados. O tamanho de lote bem pequeno usado na simulação, comparado com aqueles dos colonos reais na rodovia Transamazônica, pode ser uma explicação parcial. Uma razão mais importante é o problema das alocações durante os primeiros anos de assentamento, sobre os quais os dados para os parâmetros do programa estão baseados, sendo diferentes em algumas maneiras de alocações nos anos subsequentes.

As implicações para a capacidade de suporte devido ao comportamento de alocação do uso da terra entre colonos de diferentes tipos dependem do fator crítico para a determinação da capacidade de suporte como definida operacionalmente: a probabilidade de fracasso do colono. Probabilidades de fracasso para execuções com tipos mistos e com trabalhadores apenas sugerem chances mais altas de fracasso para trabalhadores, pela maioria dos critérios (Figura 12). Todas as probabilidades de fracasso apresentadas são médias dos últimos 10 anos simulados.

Valores para a probabilidade de fracasso combinada do colono representam a probabilidade de qualquer um dos quatro critérios de consumo (calorias, proteína total, proteína animal e dinheiro per capita) não serem alcançados. As probabilidades combinadas tem mais sentido em termos de capacidade de suporte do que probabilidades de fracasso em cada critério individual. As probabilidades na Figura 12 são bem altas, em parte indubitavelmente devido às densidades extremamente altas das populações simuladas nestas execuções em lotes simulados de 5 ou 10 ha. As probabilidades de fracasso do colono foram encontradas como sendo bem altas, apesar de não tão altas como estas, em todas as densidades simuladas. Probabilidades de fracasso são geralmente mais altas em densidades mais altas, como seria esperado do relacionamento hipotético entre densidade de população e probabilidade de fracasso do colono. Probabilidades combinadas de fracasso do colono aparentemente aumentam com a densidade populacional em execuções estocásticas com todos os tipos de colonos, e com trabalhadores apenas, em lotes simulados de 5 ou 10 ha (Figura 13) (7). As diferenças nas probabilidades de fracasso do colono entre execuções com populações mistas e execuções com trabalhadores apenas, na Figura 12, podem ser, em parte, relacionadas com as diferenças de alocação do uso da terra discutidas anteriormente (Figura 11), apesar da informação ser muito escassa para qualquer conclusão firme. Diferenças nas probabilidades de fracasso para colonos de diferentes tipos podem ser também explicadas pelas diferenças

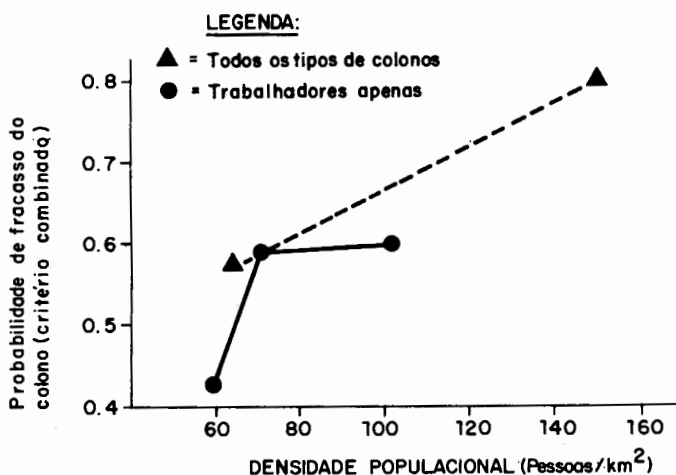
FIGURA 12



de densidades entre estas execuções simuladas (Figura 13).

Em suma, a questão permanece aberta no que diz respeito a se os trabalhadores têm ou não maiores probabilidades de fracasso do que outros tipos de colono. Apesar dos resultados serem insuficientes para resolver esta questão, as diferenças nas execuções de alocação do uso da terra em populações mistas e de trabalhadores somente sugerem que este talvez seja o caso.

FIGURA 13



## CONCLUSÕES SOBRE A CAPACIDADE DE SUPORTE

A interpretação das probabilidades de fracasso do colono, em termos de capacidade de suporte, depende do valor crítico usado como um critério de decisão para a probabilidade máxima aceitável de fracasso do colono. A probabilidade máxima aceitável é um valor que pode ser selecionado pelo planejador. Um valor é implicado pelo sistema de classificação do uso da terra usado pelo Projeto RADAM (atualmente RADAMBRASIL) do governo brasileiro, no mapeamento da bacia Amazônica. O relatório do RADAM, cobrindo a área em estudo na rodovia Transamazônica, classifica o solo como "bom", se não se espera o fracasso do agricultor mais de uma vez a cada cinco anos (levantamento de recursos naturais, 1974, v. 5, p.III/117). Isto corresponde a uma probabilidade de fracasso anual de 0,13. Em execuções estocásticas (mais realistas), as probabilidades de fracasso são sempre acima deste valor para todos os critérios individuais (figura 10), e mais acima ainda, quando se baseia em mais de um critério. Utilizando o valor de 0,13 como crítico para probabilidade máxima aceitável de fracasso do colono, a capacidade de suporte indicada estaria provavelmente, aquém (possivelmente bem mais baixa) da densidade populacional mínima simulada nas atuais execuções estocásticas de 24

peças/km<sup>2</sup>. Mais execuções, a estas densidades baixas, são necessárias para confirmar esta conclusão. Já que a maioria das formas, nas quais o comportamento da simulação desvia de condições conhecidas na rodovia Transamazônica, pendem para o lado otimista, o refinamento das técnicas de estimativas provavelmente resultaria em valores mais baixos para a capacidade de suporte.

Os efeitos da variabilidade sobre capacidade de suporte são manifestados em diferentes formas para diferentes critérios e a diferentes densidades populacionais. É claro que os altos níveis de variabilidade observados em várias partes do agro-ecossistema são críticos para os resultados das estimativas de gradientes de probabilidade de fracasso do colono com a densidade, e daí para a capacidade de suporte, como definida operacionalmente. O papel da variabilidade é mostrado por diferenças marcantes entre os resultados de execuções determinísticas e estocásticas. Os resultados do presente estudo dão algum suporte à importância dada à variabilidade, e sugere que este é um fator chave que não pode ser desprezado no alcance do objetivo de produzir estimativas viáveis da capacidade de suporte.

O atual estudo confirma a opinião informal de muitos de que a capacidade de suporte em áreas tropicais, tais como a área em estudo intensivo, é muito baixa para agricultores sustentados principalmente em culturas anuais. Deve ser enfatizado que o estudo, de maneira nenhuma, implica que o desenvolvimento destas terras através de grandes empreendimentos, como na conversão de extensas áreas em pastagens para gado, pode prover os rendimentos sustentáveis necessários para suportar uma população em uma capacidade de suporte mais alta. Ao contrário, simulações de pastagens para gado (16, 22) levantam, sérias dúvidas sobre a possibilidade desta forma de produção produzir tais rendimentos sustentáveis.

Áreas de florestas tropical estão sendo desenvolvidas com velocidade e intensidade de exploração cada vez maior em todo o mundo, obrigando os planejadores a escolher, com urgência, estratégias de desenvolvimento adequadas (\*8). Uma consideração principal em tal planejamento é a sustentabilidade um fator intimamente ligado à capacidade de suporte, já que exceder a capacidade de suporte sustentável pode ser uma via pela qual sistemas de exploração, de outras maneiras sustentáveis, falham em permanecer como tal.

#### AGRADECIMENTOS

Apoio financeiro veio do National Science Foundation (NSF) (GS-42869), Resources for the Future (RFF), Institute for Environmental Quality (IEQ), a Universidade de Michigan, e do Programa do Trópico Úmido (PTU) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradeço ao Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) pelo apoio logístico e análise de solos; ao Instituto Nacional de colonização e Reforma Agrária (INCRA); à Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMBRATER), ao Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), e ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), que deram o apoio logístico durante o trabalho de campo. O Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (U.S.P.) e o I.E.Q. contribuíram com perfuração de cartões de computador. J.M. Chernela, J.G. Gunn e J.M. Robinson fizeram sugestões ao atual trabalho. Ronaldo Gomes Chaves, Luiz Carlos Joels e Newton Leal Filho corrigiram o português. Agradeço ao Plenum Publishing Company pela permissão de publicar esta tradução (Fearnside, 1985b). Nenhum dos pontos de vista no trabalho são responsabilidade das organizações que apoiaram a pesquisa, nem dos muitos indivíduos que contribuíram em sugestões. Quaisquer erros são meus próprios.



## LEGENDAS DAS FIGURAS

Figura 1. Mapa da Amazônia Legal Brasileira, indicando as rodovias existentes até 1982. A Transamazônica segue paralela ao curso do rio Amazonas, aproximadamente 200-500 km ao sul.

Figura 2. A capacidade de suporte ( $k$ ), determinada a partir de um gradiente de probabilidade de fracasso do colono com aumento de densidade populacional humana. As probabilidades de fracasso são aquelas que seriam sustentáveis ao longo de um grande período de tempo, dado presunções apropriadas. Observa-se que esta curva aumenta na região de densidades baixas, devido à falta de infraestrutura e de outros benefícios da sociedade. A capacidade de suporte ( $k$ ) corresponde ao ponto onde o aumento nas probabilidades de falha, dependente de densidade, resulta em índices de falha que ultrapassam a probabilidade máxima aceitável de falha do colono ( $p$ ).

Figura 3. O efeito hipotético da variabilidade sobre as probabilidades de fracasso e sobre a capacidade de suporte, com densidades baixas, mais colonos fracassam em condições de alta variabilidade, porque mais colonos obtêm rendimentos insuficientes para poder alcançar os padrões. Com densidades muito altas, as probabilidades são diminuídas, devido a alguns poucos colonos obterem rendimentos acima da média ao mesmo tempo que a maioria está fracassando. Dentro da faixa de densidades que inclui a capacidade de suporte, espera-se que a variabilidade resulte em um aumento nas probabilidades de fracasso, com consequente decréscimo da capacidade de suporte, por exemplo dos valores "K1" a "K2".

Figura 4. Diagrama de alças causais simplificado do programa KPROG2. Os sinais indicam a direção da mudança esperada no valor do ponto indicado pela seta correspondente, caso aumente o valor na cauda da seta.

Figura 5. Diagrama de alças causais das relações entre algumas das variáveis incluídas no programa KPROG2.

Figura 6. Fluxograma resumido do programa KPROG2, com agrupamento das operações por nível.

Figura 7. Média, para a área como um todo, de calorías per capita, em uma execução estocástica que serve como exemplo do programa KPROG2 com o setor populacional congelado em 24 pessoas/km<sup>2</sup>.

Figura 8. Proporção dos lotes abaixo do padrão de 2.550 calorías per capita por dia na execução estocástica que serve como exemplo do programa KPROG2 com o setor populacional congelado em 24 pessoas/km<sup>2</sup>.

Figura 9. A proporção dos lotes abaixo do padrão para calorías per capita versus a média de calorías per capita referente à área como um todo, para os mesmos anos, em várias execuções de KPROG2, mostrando o efeito da variabilidade (entre lotes) no consumo e na produção sobre a probabilidade de fracasso. A seta indica o padrão mínimo utilizado.

Figura 10. A probabilidade de fracasso do colono em quatro critérios de consumo versus a densidade populacional. Execuções estocásticas são indicadas por bolas e linhas contínuas; execuções determinísticas por triângulos e linhas pontilhadas. Critérios de fracasso. A.) calorías, B.) proteína total, C.) Proteína animal, D.) Dinheiro per capita.

Figura 11. Uso da terra simulado de acordo com o tipo de colono. A substituição da população de colonos nestas execuções, todas feitas com o setor populacional dinâmico, significa que, na maioria dos lotes, os colonos originais estão sendo substituídos por recém-chegados. A substituição resulta em execuções com todos os tipos de colonos representados (barras sombreadas) sendo, na maioria, não-trabalhadores. Os resultados de execuções com os tipos de colonos restritos a agricultores-trabalhadores (barras abertas) sugerem que estes colonos plantem áreas menores do que os colonos de outros tipos.

Figura 12. O tipo de colono e as probabilidades de fracasso. A execução mostrada com a população de colonos restrita aos agricultores-trabalhadores (barras abertas) parece ter probabilidades de fracasso mais altas, para a maioria dos critérios, do que no caso da população com todos os tipos de colonos, porém os efeitos de densidade (figura 13) podem também explicar estas diferenças. As execuções são para um tamanho de lote de 10 ha com o setor populacional dinâmico. As densidades populacionais são 64,0 pessoas/km<sup>2</sup> para a execução com todos os tipos de colonos e 71,3 pessoas/km<sup>2</sup> para a execução com trabalhadores apenas.

Figura 13. Probabilidades combinadas de fracasso do colono em diferentes densidades populacionais, para populações de colonos com todos os tipos de colonos (triângulos e linha pontilhada) e com trabalhadores apenas (bolas e linha contínua).

TABELA 1: Operações do Programa KPROG2 por Nível e Setor

Nível	Setor	Operação
Geração de condições iniciais	Recursos iniciais	Qualidade inicial do solo(a)
	População	População inicial Capital inicial
Operações específicas ao ano	Produção Agrícola	Geração de padrões meteorológicos Doenças das culturas(a)
	Alocação do uso da terra (a)	Determinação de estratégia Determinação das necessidades de semente Determinação das necessidades de subsistências Caça Trabalho remunerado e outros rendimentos Financiamento Manutenção de culturas perenes e pastagens Desmatamento de floresta e roçagem de capoeira Alocação de culturas Verificações da suficiência de mão-de-obra e capital

	Alocação do produto	Preços
	População(a)	Saúde Cálculo de equivalente de mão-de-obra familiar Geração da população de recém-chegados
Operações específicas aos pedaços de terra	Produção agrícola	Solos (Qualidade das queimadas, Efeito das queimadas, Erosão Mudanças no solo, Solos sob pastagens, Fertilizantes)
		Rendimentos (Arroz, Milho, Feijão do sul (Phaseolus), Feijão da praia (Vigna), Mandioca brava, Macaxeira, Pastagens, Cacau, Pimenta-do-reino)
Operações específicas ao lote	Produção	Animais domésticos
	Alocação do produto	Transportes até o mercado Pagamentos de empréstimos Tampões contra fracassos Alocações de dinheiro
	População	Cálculos nutricionais Nascimentos e mortes Imigração e emigração individual Imigração e emigração família
Estatísticas da área total	Capacidade de suporte	Probabilidades de fracasso do colono Estatísticas de desmatamento

(a) Em alças separados, não mostrados na Figura 6.

## NOTAS

(\*1) No modo dinâmico do setor populacional, as taxas de mortalidade são relacionadas ao consumo de calorías e de proteínas através dos fatores derivados pelo grupo de modelagem Mesarovic - Pestie para o setor populacional dos seus modelos mundiais multinivelados (Cohmen e Paul, 1974; Weisman, 1974). A fertilidade permanece fixa. Os parâmetros são dos dados do recenseamento de 1970 referentes à população rural brasileira (Mata et al., 1973, p.175). São baseadas em dados de campo as partes do setor populacional para casamento dos colonos e para imigração e emigração de indivíduos e de unidades familiares.

(\*2) Entre as quatro características diagnósticas usadas por Moran (1976, 1981), somente duas (experiência urbana e a prévia propriedade ou manejo da terra) foram utilizadas na tipologia modificada. A frequência de migrações anteriores e a quantidade de bens duráveis na hora da chegada não foram utilizadas. A quantidade de bens duráveis ao chegar na área difere de acordo com o tipo de

colono (Fearnside, 1986a) e, no KPROG2, são gerados separadamente para cada tipo.

(\*3) Os dados usados na derivação à matriz de probabilidades de transição, para a qualidade inicial do solo, foram calculadas com base em lotes de 100 ha divididos em pedaços ("patches" de 1 ha). A mesma matriz foi utilizada para todas as execuções.

(\*4) O padrão de Organização de Agricultura e Alimentação da Organização das Nações Unidas (UN-FAO) de 25 g/pessoa/dia, utilizado para proteína animal, é bastante alto, num valor de 10 g/pessoa/dia sendo considerado adequado por muitas autoridades, ou até menos, dependendo de diversos fatores (McArthur, 1977). O valor mais alto é consistente com os padrões usados pelos órgãos governamentais brasileiros (curso de atualização técnica pedagógica, 1974). A alta prioridade dada à carne pelos brasileiros (incluída no setor de alocação do produto de KPROG2) assegura que o consumo de proteína animal é mais do que adequado, do ponto de vista nutricional, se suficientes recursos são disponíveis.

(\*5) Todos os valores em cruzeiros usados no programa são corrigidos para a inflação, até 1 de janeiro de 1975. Nesta época, o salário mínimo mensal no Pará era de Cr75326,40 e a taxa cambial para o dolar norte-americano era 7,4. Estas unidades são designadas "Cr75".

(\*6) Os valores para áreas apresentadas na Figura 11 se referem a áreas plantadas no caso de todas as culturas, com a exceção de mandioca brava e macaxeira. Áreas para estes tubérculos referem-se apenas às áreas colhidas. As áreas de arroz são áreas totais tanto para arroz solteiro como para arroz consorciado. A área de milho é o total de milho solteiro e milho consorciado, com uma correção para densidade de planta para dar o equivalente em termos de milho plantado solteiro, feito utilizando um fator de correção de 0,647 para milho consorciado, calculado a partir de Fearnside (1978:580) como média ponderada.

(\*7) Todas as execuções apresentadas na figura 13 tinham o setor populacional dinâmico, com a exceção da execução com a população restrita aos trabalhadores apenas, à densidade de 60 pessoas/km<sup>2</sup>, que tinha o setor populacional congelado. As execuções para as quais as probabilidades de fracasso são apresentadas para critérios individuais na figura 12 são aqueles nas densidades de 64,0 e 71,3 pessoas/km<sup>2</sup>.

(\*8) Ver Moran (1981), Smith (1981, 1982), Eden (1978), Fearnside, (1979d, 1982b, 1983b,c, 1985, 1985c), Myers (1980).

## REFERÊNCIAS

- 1- ALLAN, W. Studies in African land usage in Northern Rhodesia. Rhodes Livingstone Papers, Londres, (15): 1-23. 1949.
- 2- The African husbandman. New York, Barnes and Noble, 1965. 505p.
- 3- BAYLISS-SMITH, T.P. Population pressure, resources and welfare: towards a more realistic measure of carrying capacity. In: POPULATION-environment relations in tropical islands: the case of Eastern Fiji. H.C. Brookfield, comp. Man and the biosphere. Paris, UNESCO, 1980. p.61-33. (MAB Technical Notes 13).
- 4- BRUSH, S.B. The concept of carrying capacity for systems of shifting cultivation. American Anthropologist, Washington, (77): 799-811, 1975.
- 5- Reply to Vayda. American Anthropologist, Washington, (78): 646-647, 1976.
- 6- BUNKER, S.G. Barreiras burocráticas e institucionais à modernização; o caso da Amazônia. Pesquisa e Planejamento Econômico, Rio de Janeiro, 10 (2): 555-600, 1980.
- 7- CARNEIRO, R.L. Slash-and-burn agriculture: a closer look at its implications for settlement patterns. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ANTHROPOLOGICAL AND ETHNOLOGICAL SCIENCES, 5, 1956. Men and Cultures; selected papers. Compiled by A.F.C. Wallace. Philadelphia, University of Pennsylvania Press, 1960. p.229-234.
- 8- CONKLIN, H.C. Population-land balance under systems of tropical forest agriculture. In: PACIFIC SCIENCE CONGRESS, 9, Bangkok, 1957. Proceedings... Bangkok, Pacific Science Association, 1959. n. 7, p.63.
- 9- COWGILL, G.I. On causes and consequences of ancient and modern population changes. American Anthropologist, Washington, (77): 505-525, 1975.
- 10- CURSO de atualização técnica pedagógica; nutrição. Agrópolis Brasil Novo, Associação de Crédito e Assistência Rural do Estado do Pará, 1974. Convênio UNICEF/IPMO/ABCAR-ACAR-Pará.
- 11- EDEN, M.J. Ecology and land development: the case of Amazonian rainforest. of the Institute of British Geographers; transactions, new series, London, 3 (4): 444-463, 1978
- 12- FEACHEM, R. A clarification of carrying capacity formulae. Australian Geographical Studies, Melbourne, (11): 234-236, 1973.
- 13- FEARNSIDE, P.M. An estimate of the carrying capacity of the Osa Peninsula for human populations supported on a shifting agriculture technology. In: REPORT of research activities undertaken during the summer of 1972. San José, Organization for Tropical Studies, 1972, 810p. p.452-486.
- 14- Preliminary models for estimation of carrying capacity for human populations in a colonization area of the Transamazon highway, Brasil. 1974. mimeo.
- 15- Estimation of carrying capacity for human populations in a part of the transamazon highway colonization area of Brasil. Tese (Ph.D.)- University of Michigan, Ann Arbor, 1978. 624p.
- 16- Previsão da produção bovina na Transamazônica do Brasil. Acta Amazonica, Manaus, 9 (4): 689-700, out. 1979a.
- 17- O agro-ecossistema dos colonos da Transamazônica: simulação de produção de milho. Ciencia e Cultura São Paulo, 31 (7) suplemento: 414 (resumo); Jul. 1979b.
- 18- A simulação da capacidade de suporte para populações humanas nos trópicos úmidos; programa de computador e documentação. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 1979c, 546p.
- 19- O desenvolvimento da floresta amazônica: problemas prioritários para a formulação de diretrizes. Acta Amazonica, Manaus, 9 (4) suplemento: 123-129, out. 1979d.

- 20----- A previsão de perdas através de erosão do solo sob vários usos da terra na área de colonização da rodovia Transamazônica. *Acta Amazonica* Manaus, 10 (3): 505-511, jul. 1980a.
- 21----- Desmatamento e roçagem de capoeira entre os colonos da Transamazônica e sua relação à capacidade de suporte humano. *Ciência e Cultura*, São Paulo, 32 (7) suplemento: 511 (resumo), 1980b.
- 22----- Os efeitos das pastagens sobre a fertilidade do solo na Amazônia brasileira; consequências para a sustentabilidade de produção bovina. *Acta Amazonica*, Manaus, 10 (1): 119-132, 1980c.
- 23----- Black pepper yield prediction for the Transamazon highway of Brazil. *Turrialba*, San José, 30 (1): 35-42, jan. 1980d.
- 24----- Condições iniciais de qualidade de solo na Transamazônica e a sua simulação em modelos para a estimativa de capacidade de suporte humano. *Ciência e Cultura*, São Paulo, 33 (7) suplemento: 507 (resumo), jul. 1981.
- 25----- Alocação do uso da terra dos colonos da rodovia Transamazônica e sua relação a capacidade de suporte humano. *Acta Amazonica*, Manaus, 12 (3): 549-578, jul. 1982a.
- 26----- Simulação de parâmetros meteorológicos para a estimativa de capacidade de suporte humano na área de colonização da Transamazônica. *Ciência e cultura*, São Paulo, 34 (7) suplemento: 608-609 (resumo), jul. 1982b.
- 27----- Desmatamento na Amazônia brasileira: com que intensidade vem ocorrendo? *Acta Amazonica*, Manaus, 7 (2): 82-88, abril. 1982c.
- 28----- Stochastic modeling and human carrying capacity estimation: a tool for development planning in Amazonia. In: *THE DILEMMA of Amazonian development*. E.F. Moran, compilador. Boulder, Westview Press, 1983a, 347p. p.279-295.
- 29----- Opciones de desarrollo en la Amazonia Brasileira; una evaluación ecológica. In *ca de la frontera agropecuaria y medio ambiente en la América Latina*. Madrid, CEPAL/PNUMA/CIFCA, 1983b. 427p. p.139-169.
- 30----- Land use trends in the Brazilian Amazon as factors in accelerating deforestation. *Environmental Conservation*, Geneva, 10 (2): 141-148, apr. 1983c.
- 31----- Brazil's Amazon settlement schemes: conflicting objectives and human carrying capacity. *Habitat International*, Oxford, 8 (1): 45-61, jan. 1984a.
- 32----- Initial soil quality conditions on the Transamazon Highway of Brazil and their simulation in models for estimating human carrying capacity. *Tropical Ecology*, Varanasi, 25 (2): 1-21, jan. 1984b.
- 33----- The simulation of meteorological parameters for estimating human carrying capacity in Brazil's Transamazon Highway colonization area. *Tropical Ecology*, Varanasi, 25 (1): 136-144, jan. 1984c.
- 34----- Land clearing behaviour in small farmer settlement schemes in the Brazilian Amazon and its relation to human carrying capacity. In: *TROPICAL rain forest; the Leeds Symposium*. A.C. Chadwick and S.L. Sutton, compiladores. Leeds, Leeds Philosophical and Literary Society, 1984d, 335p. p.255-271.
- 35----- Environmental change and deforestation in the Brazilian Amazon. In: *CHANGE in the Amazon Basin; man's impact on forests and rivers*. J. Hemming, compilador. Manchester, Manchester University Press, 1985a. 222p. p.70-89.
- 36----- A stochastic model for estimating human carrying capacity in Brazil's Transamazon Highway colonization area. *Human Ecology*, New York, 13 (3): 331-369, July. 1985b.
- 37----- Agriculture in Amazonia. In: *AMAZONIA*. G.T. Prance and T.E. Lovejoy, compiladores. Oxford, Pergamon Press, 1985c. 442p. p. 393-418.
- 38----- Human carrying capacity of the Brazilian rainforest. New York, Columbia University Press, 1986a. 293p.
- 39----- Predição da qualidade da queimada na Transamazônica para simulação do agro-ecossistema em estimativas de capacidade de suporte humano. *Ciência e Cultura*, 38 (11): 1804-1811, nov. 1986b.
- 40- GLASSOW, M.A. The concept of carrying capacity in the study of culture process. In: *ADVANCES in archaeological method and theory*. M.B. Schiffer, compilador. New York, Academic Press, 1978. v.1, p. 31-48.
- 41- GOODLAND, R.J.A.; IRWIN, H.S. A Selva amazônica; do inferno verde ao deserto vermelho? São Paulo, USP/Itatiáia, 1975. 156p.
- 42- Gourou P. The tropical world; its social and economic conditions and its future status. 4.ed. New York, Longman, 1966. 196p.
- 43- HARDESTY, D.L. Ecological anthropology. New York, John Wiley, 1977. 310p.
- 44- HAYDEN, B. The carrying capacity dilemma; an alternate approach. In: *POPULATION studies in archaeology and biological anthro-*