

MURIELLY DE SOUSA NÓBREGA



**GRAUS DE LIMITAÇÃO EM SISTEMAS UTILITÁRIOS DE AVALIAÇÃO DA  
QUALIDADE DAS TERRAS**

RIO BRANCO

2009

MURIELLY DE SOUSA NÓBREGA

**GRAUS DE LIMITAÇÃO EM SISTEMAS UTILITÁRIOS DE AVALIAÇÃO DA  
QUALIDADE DAS TERRAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Dr. Paulo Guilherme S. Wadt

RIO BRANCO

2009

© NÓBREGA, M. S. 2009.

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade Federal do Acre

N754g NÓBREGA, Murielly de Sousa. **Grau de limitação em sistemas utilitários para avaliação da qualidade das terras.** 2009. 85f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre 2009.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Guilherme Salvador Wadt

1. Aptidão agrícola, 2. Grau de limitação, 3. Uso da terra, I. Título.

CDU 332.3 (811.2)

MURIELLY DE SOUSA NÓBREGA


**GRAU DE LIMITAÇÃO EM SISTEMAS UTILITÁRIOS PARA  
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS TERRAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

APROVADA em 24 de agosto de 2009

  
Profº. Dr. Falberni de Souza Costa

Embrapa Acre

  
Profº. Dr. Luiz Pedro de Melo Plese

UFAC

  
Profº. Dr. Paulo Guilherme Salvador Wadt

Embrapa Acre

Orientador

RIO BRANCO

2009

A minha querida e amada avó Maria do Desterro...

***Dedico.***

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por esta benção.

Aos meus pais Liesjio e Débora que me conduziram por toda a infância e juventude, com todo carinho, agradeço tudo o que sou. Ao meu esposo Kairo Casas pela ajuda diária e ao meu filho Murilo Nóbrega pelo amor que me oferece e pela tolerância na minha ausência.

Ao meu orientador Dr. Paulo Guilherme S. Wadt, pela paciência, incentivo, orientação, ensinamentos, confiança, amizade, oportunidades e por nunca me deixar desistir.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, através do Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre - Embrapa Acre e colaboradores, à Universidade Federal do Acre (UFAC), ao CNPq, FUNTAC e a CAPES, por me proporcionarem condições estruturais, técnicas e financeiras para a realização do Curso.

Aos professores da UFRRJ Dr<sup>a</sup> Lúcia Helena C. dos Anjos e Dr. Marcos Gervásio pela co-orientação, amparo e atenção.

A todos os Professores do Curso de Pós-Graduação pelos ensinamentos na minha formação profissional.

Aos produtores rurais e extrativistas que nos receberam e cederam seu espaço com muito respeito.

A todos os meus amigos, tanto aqueles, que fiz ao longo do curso quanto aqueles que torciam por mim quando iniciei o trabalho. Em especial agradeço à Natália Zatorre pela acolhida, em Seropédica - RJ.

Portanto, a todos aqueles que, de certa forma, cooperaram para o sucesso desta importante etapa da minha vida, o meu **“Muito Obrigada”**.

## RESUMO

A caracterização dos graus de limitação dos fatores edáficos do solo no Sistema de Avaliação de aptidão Agrícola das terras é realizada de modo conceitual, sem a definição objetiva dos limites aceitos ou dos parâmetros para a determinação de cada um dos graus de limitação possíveis para cada fator de limitação. Diante desse contexto o objetivo deste trabalho foi desenvolver um novo conjunto de regras de decisão para a determinação dos graus de limitação com base no método atual de avaliação da aptidão agrícola das terras (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995) de modo que possam ser aplicados em nível de microbacias e propriedades rurais através da utilização de indicadores e funções de pedotransferência que utilizem como variáveis atributos químicos ou físicos do solo tecnicamente viáveis e economicamente recomendáveis. Dessa forma foram revistos todos os critérios e os indicadores utilizados, bem como seus valores de referência mantendo-se a coerência conceitual proposta por Ramalho Filho e Beek (1995), porém com alterações no nível conceitual. Para a realização das análises estatísticas, as variáveis correspondentes aos indicadores utilizados para a interpretação do grau de limitação das terras quanto a aptidão agrícola foram reunidas em função de sua aplicação na definição da deficiência de fertilidade, deficiência de água e susceptibilidade à erosão. Para cada conjunto de variáveis, foram determinadas as médias e desvio padrão em função dos diferentes grupamentos obtidos para os graus de limitação (nulo, ligeiro, moderado, forte e muito forte), excluindo-se os grupamentos com menos de dois casos avaliados. Portanto, verificou-se que as regras de interpretação propostas para a avaliação dos graus de limitação quanto à deficiência de fertilidade, deficiência de água e susceptibilidade à erosão foram objetivas, permitindo a parametrização. Contudo, embora os indicadores utilizados para a estimativa dos graus de limitação tenham se mostrado coerentes na distinção dos ambientes, maior esforço deve ser dedicado ao aprimoramento das regras de decisão visando uma distinção mais segura das glebas quanto a cada fator de limitação.

## **ABSTRACT**

The characterization of the degree of limitation of edaphic factors on soil suitability rating system for agricultural land is held so conceptual, without the objective definition of acceptable limits or the parameters for the determination of each of the possible degrees of limitation for each factor of limitation. In this context the objective of this study was to develop a new set of rules of decision for determining the degree of limitation on the current method of assessing the suitability of agricultural land (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995) so that could be applied in level of micro and rural properties through the use of indicators and functions of pedotransferência using variables such as chemical or physical attributes of soil technically feasible and economically advisable. Thus all the criteria were revised and the indicators used and their reference values, maintaining the consistency concept proposed by Ramalho Filho and Beek (1995), but with changes to the conceptual level. To carry out the statistical analysis, the variables corresponding to the indicators used for the interpretation of the degree of limitation of land for agricultural suitability were met according to its application in the definition of disability of fertility, of water deficiency and susceptibility to erosion. For each set of variables, were determined and the average standard deviation for different groups obtained for the degrees of limitation (nil, mild, moderate, strong and very strong), excluding the groups with fewer than two cases evaluated. Therefore, it was found that the rules of interpretation proposed for the evaluation of degrees of limitation as to the deficiency of fertility, of water deficiency and susceptibility to erosion were objective, allowing parameterization. However, although the indicators used to estimate the degree of limitation have been consistent in distinguishing the environment, greater effort should be made to improve the rules of decision to distinguish the safest turf on each factor of limitation.

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Níveis de manejo, práticas agrícolas e tipo de trabalho empregado.....	23
QUADRO 2 - Quadro-guia para definição dos graus de restrição à drenagem. ....	52
QUADRO 3 - Quadro-guia para definição dos graus de restrição à mecanização .....	58

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Etapas do processo de planejamento do uso da terra .....	20
FIGURA 2 - Especificação de um dos Critérios utilizados na Seleção das Glebas para Amostragem. ....	39

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Fatores de Limitação e indicadores de qualidade do solo utilizados para a definição dos Graus de limitação em sistemas utilitários de avaliação da qualidade das terras .....	28
TABELA 2 - Localização, tamanho e número de amostras coletadas nas áreas de estudo.....	38
TABELA 3 - Indicadores para análise das condições agrícolas das terras. ....	42
TABELA 4- Funções de Pedotransferência para avaliação das seguintes propriedades do solo.....	43
TABELA 5 - Média, desvio padrão, valor mínimo e máximo, valor do teste F de variâncias e respectiva significância, para os indicadores utilizados na determinação do grau de limitação quanto a fertilidade do solo. ....	61
TABELA 6 - Valores médios do teor de carbono orgânico, teor de areia, teor de fósforo remanescente, da atividade de argila e da saturação por bases e de alumínio	

para os diferentes graus de limitação quanto a fertilidade do solo.....	62
TABELA 7 - Seleção das Funções discriminantes para a matriz de dados dos indicadores de qualidade do solo utilizados para a determinação dos Graus de limitação por deficiência fertilidade .....	63
TABELA 8 - Correlações associadas entre os indicadores discriminantes e as funções canônicas padronizados, para a distinção dos grupos N, L, M3 e F3 do grau de limitação quanto à fertilidade do solo.....	64
TABELA 9 - Porcentagem de acerto na predição dos grupos de limitação quanto à fertilidade do solo.....	65
TABELA 10 - Média, desvio padrão, valor mínimo e máximo, valor do teste F de variâncias e respectiva significativa, para os indicadores utilizados na determinação do grau de limitação quanto a suscetibilidade à erosão.....	66
TABELA 11- Valores médios de Erodibilidade, declividade Mudança textural, Atividade de Argila e teor de Argila para os diferentes graus de limitação quanto a suscetibilidade à erosão .....	67
TABELA 12 - Seleção das Funções discriminantes para a matriz de dados dos indicadores de qualidade do solo utilizados para a determinação dos Graus de limitação por suscetibilidade a erosão .....	67
TABELA 13 - Correlações associadas entre os indicadores discriminantes e as funções canônicas padronizados, para a distinção dos grupos L, M e MF do grau de limitação quanto a suscetibilidade a erosão.....	67
TABELA 14- Porcentagem de acerto na predição dos grupos de limitação quanto a suscetibilidade a erosão .....	68
TABELA 15- Média, desvio padrão, valor mínimo e máximo, valor do teste F de variâncias e respectiva significativa, para os indicadores utilizados na determinação do grau de limitação quanto deficiência de água.....	69
TABELA 16- Valores médios da Atividade de Argila e água para os diferentes graus de limitação quanto à deficiência de água .....	70
TABELA 17- Seleção das Funções discriminantes para a matriz de dados dos indicadores de qualidade do solo utilizados para a determinação dos .....	70
TABELA 18 - Número de casos e porcentagem de classificação dos indicadores nos 4 graus de limitação.....	71
TABELA 19 - Seleção das Funções discriminantes para a matriz de dados dos indicadores	

primários de qualidade do solo utilizados para a determinação dos Graus de limitação por deficiência de água.....	71
TABELA 20 - Correlações associadas entre os indicadores discriminantes e as funções canônicas padronizados, para a distinção dos grupos L, M e MF do grau de limitação quanto a deficiência de água .....	72
TABELA 21- Número de casos e porcentagem de classificação dos indicadores nos 4 graus de limitação .....	73

## LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Organograma das atividades realizadas em campo e laboratório .....	82
APÊNDICE B - Regra de decisão para definição do grau de limitação da fertilidade do solo.....	83
APÊNDICE C - Fluxograma para definição do grau de limitação quanto à suscetibilidade do solo à erosão .....	84
APÊNDICE D - Fluxograma para definição do grau de limitação quanto à deficiência de água. ....	85

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	19
<b>2.1 PLANEJAMENTO DO USO DA TERRA</b> .....	19
<b>2.2 SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO INTERPRETATIVA PARA AVALIAÇÃO DAS TERRAS</b> .....	20
2.2.1 Sistema de Classificação pela Capacidade de Uso .....	21
2.2.2 Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras – SAAAT .....	22
<b>2.3 GRAUS DE LIMITAÇÃO DOS FATORES EDÁFICOS</b> .....	25
2.3.1 Uso de atributos indicadores da qualidade do solo para a determinação dos graus de limitação de fatores edáficos .....	27
2.3.1.1 Atributos Indicadores de qualidade do solo .....	28
2.3.1.1.1 Deficiência de Fertilidade .....	28
2.3.1.1.2 Deficiência de Água.....	30
2.3.1.1.3 Deficiência de Oxigênio.....	32
2.3.1.1.5 Impedimentos a Mecanização.....	35
2.3.2 Funções de Pedotransferência - PTFs .....	36
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	38
3.1 ÁREAS DE ESTUDO, IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS GLEBAS PARA AMOSTRAGEM .....	38
3.2 ANÁLISE DE LABORATÓRIO .....	40
3.2.1 Análise química .....	40
3.2.2 Análise física .....	40
3.3 INDICADORES EMPREGADOS NA OBTENÇÃO DOS GRAUS DE LIMITAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS .....	42
3.3.1 Indicadores empregados na determinação do grau de limitação da fertilidade do solo.....	43
3.3.1.1 Definição dos Graus de limitação para Deficiência de Fertilidade.....	45
3.3.2 Indicadores empregados na determinação do grau de limitação para deficiência de água .....	47
3.3.2.1 Definição dos Graus de limitação para Deficiência de água .....	49
3.3.3 Indicadores empregados na determinação do grau de limitação para deficiência	

de oxigênio .....	51
3.3.4 Indicadores empregados na determinação do grau de limitação quanto a suscetibilidade à erosão .....	54
3.3.4.1 Definição dos Graus de limitação para Suscetibilidade à erosão .....	55
3.3.5 Indicadores utilizados na determinação do grau de limitação quanto aos impedimentos à mecanização .....	57
3.3.5.1 Definição dos graus de limitação quanto aos impedimentos à mecanização .....	58
<b>4.RESULTADO E DISCUSSÃO</b> .....	<b>60</b>
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	60
4.2 GRAUS DE LIMITAÇÃO QUANTO À FERTILIDADE DO SOLO.....	61
4.3 GRAUS DE LIMITAÇÃO QUANTO A SUSCETIBILIDADE A EROSÃO .....	65
4.4 GRAUS DE LIMITAÇÃO POR DEFICIÊNCIA DE ÁGUA .....	69
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>76</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>82</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com a evolução da consciência ecológica, a manutenção da qualidade dos solos visando à sustentabilidade da produção agrícola tem alcançado importância fundamental nos últimos anos, exigindo dessa forma, que cada vez mais, a exploração dos recursos naturais obedeça a critérios básicos como o uso das terras segundo sua aptidão, bem como, a adoção de práticas de cultivo e conservação de acordo com as características do solo e do ambiente em que se encontram.

O planejamento adequado da ocupação das terras tornou-se uma ferramenta básica para que se possa vir a alcançar a conservação ambiental. Decorre disto a importância em se conhecer as propriedades, atributos, ofertas e restrições ecológicas dos componentes ambientais, permitindo inferir a sua capacidade de resposta e sugerir formas de usos alternativos, subsidiando a exploração racional e sustentável, principalmente do solo e da água (CALDERANO FILHO, 2003).

A avaliação da aptidão agrícola das terras representa a maior parte desse planejamento, por se tratar das técnicas que permitem estimar o uso potencial das terras com base no uso racional e otimizado dos recursos edáficos. Sob a perspectiva clássica, essa avaliação tem como base as informações pertinentes às características da área, abrangendo a execução e interpretação de levantamentos geomorfológicos e climáticos, que se traduzem pelas propriedades físicas, químicas e morfológicas das diferentes classes e unidades de uso das terras, de modo a identificar e proceder à comparação dos tipos, mas promissores em termos de aplicabilidade aos objetivos da avaliação.

No Brasil, a classificação interpretativa das terras tem sido realizada, predominantemente, através de dois sistemas: O Sistema de Classificação da Capacidade de Uso da Terra (LEPSCH et al., 1983), adaptado do sistema norte-americano e do Sistema FAO/Brasileiro de Aptidão Agrícola das Terras - SAAAT (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995), que regionaliza diferentes tipos de utilização agrícola.

No entanto, apesar destes sistemas de avaliação diferir em vários aspectos, podem ser considerados formais pela ampla adoção em diferentes regiões por

utilizarem conceitos e notações padronizadas, bem como, por realizar o cruzamento de inúmeras propriedades obtidas diretamente dos levantamentos pedológicos ou de inferências realizadas a partir de características ambientais (CHAGAS et al., 2006).

Por outro lado, o SAAAT emprega em sua estrutura diferentes níveis de manejo, além de ser considerado um sistema aberto de modo que pode sofrer transformações, adequações e inserção de novos parâmetros e/ou fatores de limitação, acompanhando assim, os avanços do conhecimento.

O SAAAT é considerado uma importante ferramenta para o desempenho das explorações agrícolas, porém sua utilização por ser dependente de levantamentos de solos, requer muitos recursos financeiros e de infra estrutura, sobretudo em função da densidade de observações e frequência de amostragens, tornando assim sua aplicação restrita a estudos específicos e/ou detalhados (<1:50.000).

Ainda segundo Camargo et al. (1987), o levantamento de solos pode não fornecer soluções imediatas aos problemas de utilização das terras, já que o mesmo não é a única base para a tomada de decisão sobre uso e manejo. Outra importante limitação do sistema refere-se ao alto grau de subjetividade na interpretação dos parâmetros utilizados para a definição dos graus de limitação das terras quanto à fertilidade do solo, deficiência de água, deficiência de oxigênio, susceptibilidade à erosão e impedimentos à mecanização. Esta elevada subjetividade resulta muitas vezes, na influência direta do avaliador na determinação da aptidão agrícola.

Dessa forma, surge a necessidade de métodos que forneçam subsídios para o planejamento e tomada de decisão menos dependentes da experiência prévia do avaliador, que sejam adequadas para o ordenamento territorial de uso, ágeis o suficiente para permitirem a sua adoção em escalas compatíveis com os sistemas de produção e que a sua forma de abordagem seja em linguagem clara para a utilização por diversos usuários.

Diversas metodologias e procedimentos vêm sendo desenvolvidos e aplicados, visando fornecer subsídios e suprir carências de adequação a peculiaridades localizadas no sistema para o planejamento na avaliação do uso das terras, utilizando conceitos próprios, adaptados a cada área que está sendo avaliada, constituindo sistemas alternativos de classificação, permitindo diversos enfoques sobre o comportamento dos solos. Esta abordagem, entretanto, dificulta a

generalização dos resultados entre regiões que adotaram diferentes adaptações na metodologia.

Para elaboração de uma metodologia que induza a mudanças positivas na exploração das terras, respeitando as exigências impostas pelas características dos seus solos e do ambiente, é necessário que se conheça o conjunto de indicadores e/ou atributos que formam o meio no qual se pretende interferir.

Neste sentido a determinação da aptidão agrícola em nível de microbacias ou de propriedades rurais (glebas ou unidades de uso da terra), com o uso de indicadores de qualidade do solo e baseado em funções de pedotransferência, que possam melhor indicar o potencial de uso do solo, pode tornar factível a geração de informações e recomendações básicas com maior grau de detalhamento necessárias sobre os usos e manejos requeridos.

Ante o exposto as seguintes hipóteses foram formuladas no desenvolvimento do estudo:

- I. A inserção de novos parâmetros e ou indicadores de fácil obtenção, objetivos e mensuráveis permitem uma melhor definição dos graus de limitação aplicados em nível de microbacias e propriedades excluindo a influência do avaliador na determinação da aptidão agrícola.
- II. Métodos de avaliação que trabalham com dados quantitativos diminuem a subjetividade das informações resultantes, em maior precisão e padronização dos dados.

A partir dessas hipóteses, foram estabelecidos os seguintes objetivos:

Objetivo Geral:

Desenvolver um novo conjunto de regras de decisão para a determinação dos graus de limitação com base no método atual de avaliação da aptidão agrícola das terras (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995) de modo que possam ser aplicados em nível de microbacias e propriedades rurais através da utilização de indicadores e funções de pedotransferência que utilizem como variáveis atributos químicos ou físicos do solo tecnicamente viáveis e economicamente recomendáveis.

Objetivos específicos:

- Promover a incorporação e ajustes de atributos diagnósticos no método atual de avaliação da aptidão agrícola das terras estabelecendo novos indicadores e regras de decisão para cada fator de limitação.
- Descrição das regras de decisão para a avaliação do grau de limitação quanto à fertilidade do solo, deficiência de água, deficiência de oxigênio, susceptibilidade à erosão e impedimentos à mecanização;
- Incorporação nas regras de decisão de equações de pedotransferência para estimar importantes propriedades do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PLANEJAMENTO DO USO DA TERRA

A agricultura visando minimizar os custos e maximizar os benefícios ocupou os espaços geográficos sem um planejamento básico de sua aptidão, com isso esse modelo de desenvolvimento até aqui praticado, decorrente da interação entre a ação antrópica e o meio físico, causa grandes problemas devido a uma série de impactos nos agroecossistemas que, em suma, refere-se ao manejo inadequado, exploração ineficiente, levando à deterioração de sua estrutura física e, conseqüentemente facilitando os processos de erosão e de desertificação (NOORGAD, 1989; VEDOVELLO, 1993).

De acordo com Lepsch et al. (1991) o uso apropriado da terra é o passo inicial para a preservação dos recursos. No entanto, deve-se empregar cada parcela de terra de acordo com a sua aptidão, de tal forma que os recursos naturais sejam colocados à disposição do homem para o seu melhor uso e benefício, ao mesmo tempo em que são preservados para gerações futuras (FLORES, 2008).

Dentro deste contexto Santana (2008) enfatiza que o planejamento como ferramenta de gerenciamento das atividades ambientais e econômicas, emprega técnicas, instrumentos e procedimentos que permitem prever situações futuras bem como ordenar essas atividades. Deste modo, a utilização racional das terras deve ser feita de acordo com a vocação natural do ambiente, sendo necessário para tanto, o levantamento e a organização e/ou disponibilização de informações (FIGURA 1), análise de características, como cobertura vegetal, topografia, drenagem e de indicadores de qualidade do solo, possibilitando deste modo, a obtenção do conhecimento e entendimento tanto sobre o meio físico como das variações encontradas para determinada região (TUCCI, 1993; ALVES et al., 2003).

Poelking (2007) relata que o levantamento dessas informações, representa uma fase muito importante nos estudos ambientais e agrícolas, conduzindo a uma avaliação adequada de suas possibilidades de uso, conservação e exploração sustentável para fins de zoneamento e planejamento do uso das terras.



FIGURA 1 - Etapas do processo de planejamento do uso da terra

Fonte: Adaptada de FAO (1990)

Para Lepsch (1991) o planejamento do uso das terras pode ser realizado em várias escalas, desde a regional até o nível de propriedades, porém sempre baseado no conhecimento sobre o potencial de uso de cada gleba. Dessa forma Torres et al. (2007), ressalta que um estudo de caracterização, planejamento e uso do solo feito em escala de propriedade ou microbacia hidrográfica, gera informações objetivas e proporciona uma discussão embasada em critérios reais sobre o planejamento conservacionista da área, permitindo com isso, um maior detalhamento dos fatores de limitação das condições agrícolas.

## 2.2 SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO INTERPRETATIVA PARA AVALIAÇÃO DAS TERRAS

As classificações interpretativas do potencial agrícola consistem em sistemas voltados para a avaliação da capacidade de uso dos solos, envolvendo a execução e interpretação de levantamentos e estudos das formas de relevo, solos, vegetação, clima e outros aspectos da terra, de modo a identificar e proceder à comparação dos tipos de usos mais promissores, em termos da aplicabilidade da avaliação (FAO, 1976).

Sua importância reside no fato de se constituir uma base coerente de subsídios que podem ser utilizadas em planejamentos e tomadas de decisões nas atividades agrícolas, baseados nas relações entre a qualidade da terra e seu uso (ARRUDA et al., 2008). Logo, tanto a metodologia como as classificações interpretativas podem ser substituídas e atualizadas à medida que os conhecimentos científicos e tecnológicos evoluem (GLERIANI et al., 2001).

Nesse sentido, diversos sistemas de avaliação foram constituídos, tendo a classificação interpretativa de levantamentos de solos como princípio na avaliação das terras. No Brasil dois sistemas de classificações interpretativas são habitualmente adotados para fins agrícolas, sendo ambos estruturados a partir de levantamentos de solos: o sistema de “Classificação de Capacidade de Uso da Terra” (LEPSCH et al.,1983), e o “ Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras - SAAAT” proposto por Ramalho Filho e Beek (1995).

### 2.2.1 Sistema de Classificação pela Capacidade de Uso da terra

O primeiro sistema de classificação de capacidade de uso das terras foi desenvolvido nos Estados Unidos por Klingebiel e Montgomery<sup>1</sup> (1961), sendo o trabalho de Norton<sup>2</sup> (1939), considerado fundamental para a implantação desse sistema de classificação em vários países do mundo. No entanto, WEILL (1990) relata que a implantação desse sistema no Brasil teve início a partir da tradução do trabalho original "Classificação de terras como auxílio às operações de conservação do solo", em 1945.

De acordo com Rezende et al., (2007) o sistemas de classificação pela capacidade de uso foi possivelmente o mais influente de todos, sendo estruturado pelo Serviço de Conservação do Solo dos EUA, para agrupar solos em classes de capacidade de uso para programas de planejamento agrícola, principalmente sob um enfoque conservacionista.

Conforme descreve Lepsch et al., (1991), esse sistema é definido como uma classificação técnico-interpretativa, onde os indivíduos são agrupados em função de determinadas características de interesse prático e específico para certas finalidades. Fundamenta-se na classificação quantitativa das terras, sendo voltada para suas limitações e sua utilização.

Na determinação da capacidade de uso, verificam-se as influências do meio físico (natureza do solo, declividade, erosão, drenagem e o clima) na aptidão das terras, para que esta possa vir a ser explorada mais intensivamente, sem risco de

---

<sup>1</sup> KLINGEBIEL, A.A; MONTGOMERY, P.H. Land capability classification. Wahiton, D.C.USD, 1961. 21p. (Agriculture Handbook 210) citado por LEPSCH et.al. (1991).

<sup>2</sup> E. A. Soil conservation survey handbook. Washington, USD, 1939, 40 p. citado por Bertoni et. al. (1990)

depauperamento do solo, eventualmente decorrente de seus diversos usos (Lepsch et al., 1991).

A categoria do sistema de capacidade de uso preconizada pelo Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso reúne as unidades de mapeamentos em Grupos (intensidade de uso das terras), Classes (oito classes, definidas conforme o grau de limitação), Subclasses (Representam as classes de capacidade de uso em função da natureza da limitação) e Unidade de Capacidade de Uso (caracterizam a natureza da limitação do uso).

Giboshi (2005) relata que para a determinação da capacidade de uso devem ser alistados os fatores que possuem maior influência sobre o uso da terra, e que estes, deverão ser interpretados e analisados em conjunto, para a determinação e separação das classes, subclasses e unidades de capacidade de uso.

De acordo com Weill (1990) esse sistema demanda informações detalhadas, geralmente, não encontradas nos mapas de solos disponíveis no Brasil, bem como, supõe nível de manejo considerado elevado para as condições da nossa agricultura.

Entretanto, esse sistema tem sido aplicado em diversas regiões do País, tanto para elaboração de mapas, definição das classes de capacidade de uso, bem como, no desenvolvimento de sistemas de apoio a decisão e recomendação de usos adequados para cada classe de capacidade (ROSA et al., 2006; CAMPOS et al., 2007; GIBOSHI et al., 2006).

### 2.2.2 Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras – SAAAT

Em face de se ter um estudo básico sobre os recursos naturais disponíveis no país, o SAAAT iniciou-se na década de sessenta (BENEMMA et al., 1964) elaborado sob os auspícios da Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola - SUPLAN, a qual visando o cumprimento de metas estabeleceu um programa no qual incluía a avaliação da aptidão agrícola das terras, como um meio de conhecer sua disponibilidade para diferentes tipos de utilização.

Assim, contando com o apoio técnico da FAO<sup>3</sup>, colaboração de outras entidades e com base no sistema elaborado e adotado pelo SNLCS<sup>4</sup>, o SAAAT foi

---

<sup>3</sup> FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION

<sup>4</sup> Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos - SNLCS

desenvolvido, sendo divulgado pela Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo (DPFS) do Ministério da Agricultura, onde foi considerado um marco na evolução dos trabalhos sistemáticos sobre interpretação de levantamentos de solos do país. Nesse sistema, as terras são classificadas segundo sua aptidão para culturas sob diferentes manejos (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995) sendo também conhecido como sistema "FAO BRASILEIRO".

Ao longo dos anos, em consequência dos trabalhos realizados em algumas regiões e estados brasileiros, esse método sofreu várias e importantes modificações e, ajustes. Atualmente, encontram-se na terceira edição, sendo realizado com base nos resultados de levantamentos pedológicos do nível exploratório ao detalhado, apoiado em várias características físico-ambientais, como: solo, relevo, clima e vegetação, possibilitando uma avaliação mais abrangente das potencialidades dos solos nos diversos Estados e regiões brasileiras (PEREIRA, 2004; SILVA, 2007).

O SAAAT a partir da adoção de técnicas e de capital, segundo graus de viabilidade compatíveis com o nível de manejo, possibilita reduzir as limitações do solo, estimando as qualidades do ecossistema a partir de cinco parâmetros considerados preponderantes na definição de seu potencial de uso: deficiência de fertilidade, deficiência de água, deficiência de oxigênio, impedimentos à mecanização e suscetibilidade à erosão.

Em função do nível tecnológico, da aplicação de capital no melhoramento, manutenção das condições agrícolas e na força de trabalho predominante da maioria dos produtores rurais da área a ser analisada, são adotados três níveis de manejo (Quadro 1) são identificados pelas letras A, B e C as quais podem apresentar diferentes grafias, variando de acordo com as classes de aptidão em cada um dos níveis adotados.

QUADRO 1 - Níveis de manejo, práticas agrícolas e tipo de trabalho empregado

<b>Níveis de Manejo</b>	<b>Práticas Agrícolas/ Capital Aplicado</b>	<b>Trabalho Empregado</b>
<b>A – Primitivo</b>	Baixo nível técnico-cultural/ Praticamente ausente	Braçal, tração animal e implementos agrícolas simples
<b>B - Pouco desenvolvido</b>	Nível tecnológico médio / Modesta aplicação	Tração animal ou motorizado – apenas no preparo inicial
<b>C – Desenvolvido</b>	Alto nível tecnológico/ Aplicação intensiva	Motomecanização em todas as fases da operação agrícola

Fonte: Adaptado de Rezende et al. (2007)

Esse sistema apresenta uma estrutura categórica que distingue grupos, subgrupos e classes de aptidão agrícola. Os seis grupos identificam o tipo de utilização mais intensivo das terras, analisando as condições agrícolas das diferentes unidades de mapeamentos. São representados com algarismos de 1 a 6, em escalas decrescentes segundo as possibilidades de utilização das terras.

Os subgrupos de aptidão referem-se às variações dos grupos, representam a interação da classe com o nível de manejo, sendo descrito por uma legenda de identificação. As classes expressam a aptidão agrícola das terras para um determinado tipo de utilização, com um nível de manejo definido, dentro do subgrupo de aptidão, sendo em número de 4 definidas em termos de graus, são elas: boa, regular, restrita e inapta.

#### 2.2.2.1 Benefícios e restrições do SAAAT

Apesar de constitui-se num importante instrumento metodológico de avaliação de terras o SAAAT, apresenta entre outros, benefícios e restrições.

Para a primeira questão, Resende et al.,(2007), destaca a importância de um sistema de avaliação de terras, analisar explicitamente em sua estrutura os chamados níveis tecnológicos (A, B, C), uma prática considerada altamente apropriada para países como o Brasil, visto que os problemas de solos não são do mesmo modo importantes para o grande e o pequeno agricultor, considerando também, através do uso de capital e técnicas uma estimativa da viabilidade de redução dos problemas. Entretanto, Freitas (2006) chama a atenção para o quanto pode ser restrita a estratificação em níveis de manejos A, B e C, haja vista a complexidade de inúmeros sistemas constituídos por pequenos agricultores em distintas regiões e as interações que ocorrem quanto aos aspectos de qualidade e conservação do solo.

Outro benefício deste sistema tem sido a própria estrutura metodológica aberta que permite seu ajuste conforme as inovações tecnológicas e adaptações regionais, sem perder a sua unidade. Porém dada a dependência da realização de estudos de levantamento de solos, sua utilização requer muitos recursos financeiros e de infra-estrutura, sendo aplicável em escalas regionais ou macro-regionais, não especificando as práticas de manejo e conservação adequadas em nível de glebas e propriedades, portanto, inacessível para a maior parte dos produtores rurais.

Segundo Rezende (1983) outros fatores que tem prejudicado a difusão da metodologia são a dificuldade de entendimento da mesma por não especialistas, a não aplicação do sistema para culturas ou usos específicos e a subjetividade na definição dos graus de limitação.

No entanto apesar das restrições presentes nesta metodologia, esta tem sido bastante empregada em diferentes trabalhos para avaliação de terras no Brasil, nos mais variados níveis de detalhe, adaptações e no uso de sistemas de informação geográficas (FERNANDES FILHO, 1996), visando à quantificação automática das áreas, obtenção de mapas e da constante atualização das informações geoambientais, além da inclusão das funções de pedotransferência para predizer certas propriedades do solo a partir de outras facilmente medidas e rotineiramente obtidas a custos mais baixos (PEREIRA, 2002; NÓBREGA et al., 2008; WADT et al, 2008; SOUZA et al., 2008) nos quais são articulados as diferentes limitações que ocorrem no ambiente (ARAÚJO; LOPES ASSAD, 2001).

### 2.3 GRAUS DE LIMITAÇÃO

A Classificação da aptidão agrícola das terras resulta da determinação dos Graus de Limitação (nulo, ligeiro, moderado, forte e muito forte), os quais representam processos relacionados ao uso da terra que influenciam sua viabilidade econômica, quanto a cinco fatores: deficiência de fertilidade do solo, deficiência de água, deficiência de oxigênio, susceptibilidade à erosão e impedimentos à mecanização.

No entanto, a caracterização dos graus de limitação do solo no SAAAT é realizada de modo conceitual, sem uma definição objetiva dos limites aceitos ou dos parâmetros para a determinação de cada um dos graus de limitação possíveis para cada fator de limitação. Esta abordagem, embora correta do ponto de vista metodológico, impossibilita que o sistema seja utilizado de forma mais precisa.

Dessa forma, procurando suprir as carências de adequação e peculiaridades localizadas do SAAAT, referentes à caracterização dos Graus de limitação a demanda tem sido no sentido de torná-lo mais objetivo. Com isso observa-se que as principais tendências analisadas tem sido na mudança de avaliações generalizadas para avaliações de usos mais específicos, como o aumento no uso dos indicadores

relacionados ao solo, e ao acréscimo nas tentativas de quantificação dos resultados das avaliações (NÓBREGA et al., 2008).

De acordo com Schneider et al. (2007) é necessário que se disponha de métodos que permitam buscar as informações necessárias a classificação da aptidão diretamente no campo, utilizando procedimentos mais simples e que demandem menos tempo que os adotados em levantamentos de solos. Larach, (1990) adverte que, ainda que a concepção do SAAAT tenha sido desenvolvida para interpretação de levantamentos generalizados, a sua estrutura permite reajustamentos, diminuindo assim, a dependência de levantamento de solos, quando se tem, ou quando se possa obter uma informação pedológica de qualidade mesmo que menos detalhada.

Estas limitações têm exigido a revisão das definições concernentes aos Graus de Limitação do Sistema de Aptidão Agrícola das Terras, incluindo o uso e a quantificação de novos indicadores, porém mantendo os mesmos conceitos do sistema tradicional, permitindo assim, determinar de forma objetiva todos os Graus de limitação dos Fatores de limitativos das condições agrícolas do solo, identificando também a prática de melhoramento que pode ser aplicada a cada processo degradativo da aptidão agrícola (NÓBREGA et al., 2008; WADT et al.,2008; SOUZA et al.,2008).

Para isso, tem sido proposto em vários estudos o uso de métodos alternativos, baseados em alterações, inserção de atributos diagnósticos e construção de quadros-guias, propondo novas abordagens as quais são articuladas as diferentes limitações que ocorrem no ambiente, com sua respectivas intensidades, permitindo através da combinação destes fatores a separação de glebas, para as quais são indicados usos e manejos apropriados (NEUBERT,1995), possibilitando assim, uma avaliação mais concisa e abrangente das potencialidades dos solos nas diversas áreas.

Como exemplos de metodologias desenvolvidas nesta linha, podem ser citados os trabalhos de Pereira (2002), que utilizou o SAAAT como um dos instrumentos metodológicos, propondo através da parametrização e da avaliação individualizada dos atributos referentes aos fatores de limitação uma nova abordagem dos graus de limitação, a qual proporcionou um caráter quantitativo, reduzindo o grau de subjetividade e proporcionando melhoria no nível de precisão.

Gomes et al. (2005) que visando avaliar a aptidão agrícola para reflorestamento nas sub-bacias dos Canais do Mangue e Cunha (RJ) estimou os graus de limitação como funções lógicas em sistemas de informações geográficas(SIG) a partir de atributos disponíveis no mapeamento existente, considerando apenas quatro parâmetros de limitação (Fertilidade, água e erosão/mecanização).

### 2.3.1 Uso de atributos indicadores da qualidade do solo para a determinação dos graus de limitação

Visando a obtenção de um método que induza a mudanças de caráter prático na exploração agrícola das terras, de forma que possa ser sugerido o melhor uso para cada gleba nos sistemas de manejo em utilização pelos agricultores, e respeitando as exigências impostas pelas características dos seus solos e do ambiente em que se encontram, é necessário que haja a mensuração do estado atual das propriedades que formam o meio, no qual se pretende intervir.

Para isso, foram selecionados e definidos valores considerados adequados ou ideais de determinadas propriedades, designadas aqui como atributos indicadores da qualidade do solo para a determinação dos Graus de limitação. Advertindo, no entanto, que o termo qualidade do solo está sendo utilizado nesse estudo, de acordo com a aceção proposta por Doran e Parkin (1994) como sendo a capacidade do solo de funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade e mantendo a qualidade do meio ambiente.

Assim, o uso desses atributos indicadores, é de grande importância, tendo em vista, que refletem as características e processos intrínsecos que influenciam a capacidade do solo na produção das culturas, fornecendo subsídios, e auxiliando no manejo e na tomada de decisão sobre a melhor forma de utilização deste recurso.

No entanto, de acordo com Lal et al.(1999) a seleção desses indicadores deve ser realizada de forma criteriosa com relação aos objetivos, e que estes sejam devidamente interpretados e analisados, quanto a determinadas características que possibilitam sua utilização. No presente estudo, procurou-se utilizar na definição dos Graus de Limitação, indicadores de qualidade do solo que sejam capazes de:

- (i) Serem aplicáveis às condições de campo;
- (ii) representar os atributos físicos,

químicos do solo; (iii) possuir disponibilidade de avaliação pela maioria dos laboratórios e; (iv) serem de obtenção economicamente viável.

Para cada fator de limitação (Tabela 1) tomado, tradicionalmente, para avaliar as condições agrícolas das terras, foram selecionados de acordo com as características citadas acima, os indicadores de qualidade do solo para a determinação dos diferentes graus de limitação.

TABELA 1 - Fatores de Limitação e indicadores de qualidade do solo utilizados para a definição dos Graus de limitação em sistemas utilitários de avaliação da qualidade das terras

Fatores de Limitação	Indicadores
Deficiência de Fertilidade	Nutrientes, alumínio, fósforo, razão de adsorção de sódio, condutividade elétrica, atividade de argila, fósforo remanescente, profundidade, carbono orgânico
Deficiência de água	Precipitação total, água disponível, atividade de argila, ambiente de várzeas
Deficiência de oxigênio	Drenagem, ambiente de várzeas, relevo, volume de poros
Suscetibilidade à erosão	Declividade, erodibilidade, mudança textural, atividade de argila
Impedimentos a mecanização	Profundidade, rochosidade, pedregosidade, declividade, drenagem

### 2.3.1.1 Atributos Indicadores de qualidade do solo

#### 2.3.1.1.1 Deficiência de Fertilidade

Dentre os fatores limitantes para a determinação da aptidão agrícola das terras, o relacionado à deficiência de fertilidade do solo, que abrange um conjunto de características relacionadas a processos químicos, físicos e biológicos, é um dos mais importantes, afetando diretamente e de forma generalizada à produtividade das lavouras. O monitoramento da qualidade do solo por meio de indicadores químicos tem sido freqüentemente utilizado, principalmente relacionado aos atributos descritos numa análise convencional da fertilidade do solo (MELLONI et al., 2008).

Entre os indicadores de qualidade do solo, sob o ponto de vista da fertilidade para inferir a capacidade do solo em manter sustentável diferentes unidades de uso

da terra, estão: carbono orgânico, condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio, textura, atividade de argila saturação por bases (V%) e por alumínio (m%), conforme descrito, a seguir:

a) Condutividade elétrica (CE): indicador associado à camada superior do solo, determinada no extrato de saturação, seguindo o procedimento de Embrapa (1989). Adota-se o valor de  $2,0 \text{ dS m}^{-1}$  para a distinção entre solos salinos e não salinos.

b) Razão de adsorção de sódio no extrato de saturação (SAR): Deve ser determinada no mesmo extrato utilizado para a determinação da condutividade elétrica, conforme Embrapa (1989). O sistema proposto adota como critério para a distinção de solos sódicos aqueles com  $\text{SAR} \geq 15\%$  e solos não sódicos, aqueles com  $\text{SAR} < 15\%$ .

c) Atividade da argila (T): O teor de argila deve ser determinado na fração terra fina seca ao ar (Embrapa, 1989). Solos com teor de argila maior que  $40 \text{ dag kg}^{-1}$  serão considerados como solos argilosos.

d) Fósforo Remanescente (Prem): deve ser determinado pela concentração de equilíbrio de fósforo após a adição de  $60 \text{ mg P kg}^{-1}$  solo. É uma determinação muito mais simples e de menor custo que a análise textural (LOPES; ALVAREZ, 1999). Neste estudo foram considerados solos com alta capacidade de adsorção de fósforo aqueles com teor de Prem  $< 20 \text{ mg kg}^{-1}$ , e os com baixa capacidade de adsorção de P foram aqueles com P rem  $\geq 20 \text{ mg kg}^{-1}$ .

e) Profundidade do solo (P): é avaliada em função da ausência de impedimentos físicos à penetração de raízes até as profundidades de 50 e 100 cm, sendo estes limites adaptados de Embrapa (2006): P  $< 50$  cm, solo raso; P entre 50 e 100 cm, solo pouco profundo e P  $> 100$  cm, solo profundo a muito profundo.

f) Saturação por alumínio (m): Os solos serão considerados como com baixa limitação quanto ao alumínio trocável, quando o valor m for menor ou igual a 30%; serão considerados solos com elevada limitação quanto ao alumínio trocável, quando o valor m for maior que 30%.

g) Saturação por bases (V%): consiste no somatório dos teores de Ca, Mg, K e Na trocáveis, todos em  $\text{cmolc}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ . A CTC é calculada pela soma da acidez potencial a pH 7 com a SB, ambos em  $\text{cmolc}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ . Para a distinção dos solos, o critério foi baseado em Embrapa (2006), sendo que:  $V < 50\%$ , os solos são considerados distróficos;  $V \geq 50\%$ , os solos são considerados eutróficos. Quando a saturação por bases for menor que 25% e a atividade de argila for menor que  $13 \text{ cmolc}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ , o estoque de nutrientes do solo será considerado como sendo muito baixo.

h) Carbono orgânico (Corg): Atributo que confere qualidade ao solo por se relacionar com as propriedades que classificam as diversas funções no solo, tais como o grau de agregação, densidade do solo, porosidade, entre outros. Na metodologia proposta o carbono orgânico (Corg) deve ser determinado por oxidação a quente em solução ácida de dicromato, sendo que solos com teor de carbono orgânico menor que  $0,6 \text{ dag kg}^{-1}$  (quando textura areia) serão considerados como solos pobres em matéria orgânica do solo.

i) Teor de areia na fração terra fina seca ao ar (Areia): Porcentagem de areia na fração terra fina seca ao ar, determinada conforme Embrapa (1997). Solos com teor de areia menor que  $85 \text{ dag kg}^{-1}$ , serão considerados como não arenosos e aqueles com teor de areia maior que  $\geq 85 \text{ dag kg}^{-1}$ , serão considerados solos arenosos.

#### 2.3.1.1.2 Deficiência de Água

Na atividade agrícola, dentre os vários fatores limitantes, a deficiência de água, é um dos fatores utilizados no Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, com grande ênfase, pois além de afetar as relações hídricas nas plantas, atuando praticamente em todos os seus processos fisiológicos e bioquímicos ocorre também em amplas extensões de áreas agricultáveis.

Entretanto os parâmetros adotados no SAAAT para este fator referem-se quase que exclusivamente ao regime pluviométrico, notadamente quanto ao total da precipitação anual, sua distribuição e duração dos períodos secos, havendo pouca

informação a respeito da umidade retida pelo solo em potenciais matriciais específicos.

Muito embora, esta propriedade do solo seja largamente usada como critério no dimensionamento de projetos de irrigação e em outros campos da Agronomia, a determinação das propriedades hidráulicas do solo é de difícil obtenção e a relação entre retenção de água e características de solo é complexa. Com isso tem sido proposto a estimativa de atributos físico-hídricos, baseados em atributos de fácil e rápida obtenção (MELLO et al., 2005 ; SANTI et al., 2004).

Entre os indicadores de qualidade do solo selecionados para inferir os graus de limitação por deficiência de água estão: Água disponível até a profundidade de 100 cm - considerada como a água retida no solo entre a capacidade de campo - CC e ponto de murcha permanente - PMP; ambiente de várzea, precipitação anual, e atividade de argila.

a) Água Disponível: A quantidade de água disponível (AD) constitui uma variável de suma importância na caracterização da necessidade de água e da eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas, sendo considerada como a máxima quantidade de água passível de ser disponível para a planta sob baixas condições de demanda evaporativa, como a água retida no solo entre a CC e PMP. Entretanto as inúmeras dificuldades na determinação precisa da AD tornam esta variável de difícil quantificação.

Pereira e Lombardi Neto (2004) propuseram a introdução da variável água disponível com a finalidade de determinar o grau de limitação do solo quanto à deficiência de água no sistema SAAAT. Entretanto, os autores não incluíram outras variáveis importantes, como as condições climáticas, provavelmente por terem ajustado o método para uma única região (Ribeirão Preto, SP e vizinhanças).

De acordo com Arruda et al. (1987) os parâmetros do solo mais necessários para a determinação da lâmina de irrigação e do armazenamento da água no solo são a (i) capacidade de campo (CC) - por indicar o limite superior aproximado da quantidade de água disponível para as plantas, estando próximo ao limite da plasticidade, porosidade de aeração adequada para a maioria dos microrganismos aeróbios e para o crescimento das maioria das plantas; (ii) o ponto de murcha permanente (PMP) que representa o conteúdo de água no solo retido a um componente matricial do potencial de água tão elevado, em valor absoluto, tal que a

maioria das plantas não consegue extrair água do solo e entra em murcha permanente; e a (iii) densidade do solo ( $d_s$ ) o qual representa a relação entre a massa de sólidos e o volume total que essa massa ocupa, ou seja, o volume do solo incluindo o espaço ocupado pelo ar e pela água, situando-se em condições naturais desde 0,2 a 1,6 kg/dm<sup>-3</sup>.

Entretanto, devido a dificuldade de obtenção desses parâmetros, tem sido proposto em vários trabalhos o uso de equações para predição da AD nos potenciais equivalentes a CC e o PMP (GIAROLA et al., 2002; OTTONI FILHO, 2000; FIDALSKI; TORMENA, 2007).

b) Ambiente de várzea: O indicador de ambiente de várzea tem como finalidade representar áreas em zonas de sedimentação nas bacias hidrográficas (áreas que recebem águas superficiais de pontos mais elevados da bacia hidrográfica) ou áreas sujeitas a inundações periódicas devido ao transbordamento das redes de drenagem.

c) Precipitação Anual: É considerado o elemento meteorológico que apresenta maior efeito na produção agrícola, visto que na ausência da irrigação é o elemento determinante da disponibilidade de água no solo para uso das plantas. Este indicador deve ser definido em função dos dados climáticos da região e os resultados devem ser expressos em mm de chuva.

#### 2.3.1.1.3 Deficiência de Oxigênio

De modo geral, as plantas para se desenvolverem necessitam de um ponto de equilíbrio entre a quantidade de água disponível e o espaço ocupado pelo ar no solo. Em solos com excesso de água, o espaço poroso é totalmente preenchido, interrompendo o intercâmbio gasoso existente entre atmosfera e o solo (SÁ et al., 2005) ocasionando mudanças físicas, químicas e bioquímicas, com efeito imediato na redução do volume de macroporos, difusão da água e dos gases dificultando o crescimento das raízes pela diminuição da respiração radicular, bem como o desenvolvimento e a produtividade das culturas.

Portanto, devido a importância nas atividades agrícolas dos parâmetros já citados a deficiência de oxigênio no solo é um dos cinco fatores de limitação considerados pelo Sistema de Aptidão Agrícola das Terras (RAMALHO FILHO;

BEEK, 1995) como determinantes de seu potencial de uso nos mapas de aptidão agrícola. Dessa forma, foram definidos como indicadores do grau de deficiência de oxigênio os seguintes atributos: ambiente de várzeas, relevo local, o grau de restrição à drenagem e a porcentagem do volume dos poros do solo ocupados por ar (valor A).

a) Poros do solo ocupados por ar (A): Percentual do volume de poros ocupados pelo ar (valor A)<sup>5</sup>. O valor A, a ser adotado, deverá consistir sempre no menor valor determinado nas profundidades de 0 a 25 cm, 25 a 60 cm e de 60 a 100 cm, independente da camada em que este menor valor ocorra. Os valores críticos para a porcentagem de volumes de poros ocupados com água foram definidos como: acima de 20%, bem aerados; de 10 a 20%, média aeração; abaixo de 10%, baixa aeração.

b) Grau de restrição a drenagem: O grau de restrição à drenagem é classificado com notas que variam de 0 a 4. Este indicador é definido em função do grau de restrição imposta pela drenagem do solo ao adequado desenvolvimento do sistema radicular de culturas adaptadas a condições de terras altas. Esta restrição associa-se à profundidade em que ocorre características indicativas de deficiência de drenagem, como lençol freático elevado, mosqueados ou cores acinzentadas, camadas de impedimento ou presença de argila de alta atividade (T). Esta última característica, quando presente em qualquer camada avaliada conduz a baixa permeabilidade.

As características relacionadas ao grau de restrição à drenagem devem ser avaliadas visualmente no momento da amostragem do solo, anotando-se, quando presente, a profundidade em que ocorrem.

#### 2.3.1.1.4 Suscetibilidade a Erosão

O solo é um recurso natural fundamental, do qual, primariamente, qualquer exploração agrícola da terra é dependente. Quando o solo passa a ser manejado de forma indiscriminada, os processos erosivos são intensificados, ocorrendo desequilíbrios nas relações solo-clima-vegetação, promovendo assim a instabilidade do sistema, e gerando sob o ponto de vista de sua aptidão, processos de degradação causados pela erosão (BLOISE et al., 2001), o que leva a diminuição

---

<sup>5</sup> Valor descrito na metodologia.

da área agrícola, bem com a perda de renda e redução da oferta de alimentos (CAMPOS, 2000).

Deste modo, a estimativa da perda de solo para uma determinada área é o princípio para o planejamento de ações corretivas. Todavia, a determinação por métodos diretos da extensão e taxas de erosão, assim como seus impactos são dificultados pelas deficiências técnicas (custo elevado), devido à variação no tempo/espaço dos processos erosivos e sobre as variações físicas e de manejo que determinam as condições específicas do local (WEILL, 1999). No entanto, baseado nestas condições, a construção de modelos procurando quantificar a suscetibilidade de um dado solo ao processo erosivo através de métodos indiretos tem sido desenvolvidos, tornando-se prática relevante para o planejamento conservacionista.

Dessa forma, para inferir os graus de limitação por suscetibilidade a erosão foram selecionados indicadores que baseiam-se em propriedades relacionadas ao transporte e desagregação das partículas, e que possam ser mensurados através de métodos indiretos, tais como : Declividade, Mudança textural abrupta, Erodibilidade e Atividade de Argila .

#### a) Erodibilidade ( K )

Segundo Lal (1988), a K do solo pode ser definida como sendo o efeito integrado de processos que regulam a recepção da chuva e a resistência do solo a desagregação de partículas e o transporte subsequente, constituindo o parâmetro de maior custo e morosidade para sua determinação, especialmente no Brasil, em face da extensão territorial e das diversidades edáficas (CAVALIÉRI,1998).

O fator Erodibilidade (K) pode ser obtido por métodos diretos em condições de campo, sob chuva natural e/ou simulada (procedimentos onerosos e muito demorados), bem como através do uso de métodos indiretos que contenham como variáveis, atributos do solo que possam ser determinados em laboratório, através de combinações que permitam determinar quantitativamente a erodibilidade dos solos (SILVA et al., 2000 ; CORRECHEL, 1998 ). A escolha de um índice apropriado para estimar a erodibilidade depende de muitos atributos, sendo os de maior relevância aqueles que governam o processo erosivo sob condições naturais.

Para Lal (1988), esses índices devem ser simples e facilmente adaptados de modo a ser obtido a partir de análise laboratoriais de rotina; estar relacionado a outros parâmetros quantitativos do solo, bem como ser de fácil uso para classificar o solo em categorias de erodibilidade. Um método clássico de determinação indireta do fator K, é o método proposto por Wischmeier et al., (1971), por meio de um nomograma com base nos parâmetros textura, estrutura, classes de permeabilidade e porcentagem de matéria orgânica.

De acordo com Denardin (1990) diversos estudos tem se destacado desenvolvendo modelos para determinação do fator K por métodos indiretos, baseando-se em equações que contenham variáveis independentes e parâmetros do solo correlacionados com a erodibilidade de fácil mensuração. Essas equações são ajustadas por meio de análises de regressão dos valores de erodibilidade determinadas pelos métodos diretos, em função de parâmetros físicos, químicos e mineralógicos. Neste estudo adotou-se equação de pedotransferência proposta por (WILLIAMS et al., 1984, apud ZHANG, 2008). A escolha deste modelo foi pelo fato de os autores utilizarem variáveis de fácil mensuração.

#### b) Declividade

Informação básica de topografia utilizada nas metodologias de identificação de áreas potenciais aos processos de erosão, de determinação da viabilidade e rendimento das práticas agrícolas bem como nos sistemas de avaliação e planejamento do uso da terra (FUJIHARA, 2002). Para obter precisão dos dados, a declividade média do terreno deve ser avaliada de forma direta no campo, com a utilização de clinômetro. A utilização do clinômetro implica em um pequeno investimento, porém é de fácil utilização e permite a determinação deste parâmetro com uma boa exatidão.

#### 2.3.1.1.5 Impedimentos a mecanização

No SAAAT o princípio geral adotado para avaliar esse fator tem sido a perda de rendimento de tratores nas operações de cultivo (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995), sendo considerado de grau nulo quanto aos impedimentos quando o rendimento é superior a 90%; ligeiro, quando entre 75 e 90%; moderado, entre 50% e 75%; forte, abaixo de 50% e; muito forte, quando não é possível a mecanização.

Contudo, devido à variabilidade das operações mecanizadas em áreas rurais, bem como dos diferentes modelos de máquinas, estes impedimentos são também avaliados por meio de indicadores indiretos relacionados aos atributos dos solos (declividade do terreno, textura, pedregosidade, restrições de drenagem, etc).

Pereira et al. (2004) propuseram regras de interpretação de algumas propriedades do solo visando definir o grau de limitação quanto aos impedimentos à mecanização; entretanto, as regras foram desenvolvidas apenas para os níveis de manejo B e C, além de não incluírem impedimentos relacionados às características vérticas e de drenagem dos solos. A informatização do sistema tem sido procurada por vários autores (FERNANDES FILHO, 2006; GIBOSHI, 1999) como uma forma de agilizar os trabalhos e oferecer, à sociedade, respostas rápidas e de baixo custo (GARCIA; ESPINDOLA, 2001).

Para avaliar o grau de limitação quanto aos impedimentos à mecanização foram utilizados como indicadores as seguintes variáveis: declividade do terreno, textura do solo (teor de argila e de areia), profundidade do solo, rochiosidade e pedregosidade (incluindo concreções endurecidas, como petroplintita) e drenagem do solo.

#### a) Textura do solo

A textura do solo refere-se à proporção relativa em que se encontram, em determinada massa de solo, os diferentes tamanhos de partículas. Refere-se, especificamente, às proporções relativas das partículas ou frações de areia, silte e argila na terra fina seca ao ar (TFSA).

#### b) Rochiosidade e Pedregosidade

Proporção de pedras soltas e afloramentos rochosos que ocorrem na superfície do terreno.

### 2.3.2 Funções de Pedotransferência - PTFs

Considerando os objetivos da avaliação da aptidão agrícola das terras, a determinação de alguns atributos indicadores utilizados na definição dos Graus de limitação do solo, através do uso de Funções de Pedotransferência (PTFs), pode representar uma ferramenta de grande importância para algumas aplicações, tendo

em vista, que muitos processos inerentes ao solo, como a capacidade de retenção da água e a estimativa das perdas de solo, devido às dificuldades experimentais possuem determinação trabalhosa, e delongada, persistindo nos laboratórios problemas de custo, morosidade e inexatidão.

Atualmente vários trabalhos são encontrados com modelos ou equações que tentam descrever as propriedades de retenção de água e erodibilidade dos solos. Arruda et al. (1987) estudaram as relações existentes entre capacidade de campo, ponto de murcha permanente, densidade global e textura, visando a obtenção de parâmetros de solo para cálculo da água disponível. EM condições de solos brasileiros Tomasella et al. (2000), desenvolveu um modelo utilizando dados de mais de 500 horizontes, com o objetivo de inferir a estimativas das curvas de retenção de água e de resistência do solo a penetração. Zhang et al. (2008) avaliaram o fator erodibilidade (K) para 13 grandes solos da China utilizando dados de perdas erosão a partir da pedofunção proposta por Williams et al., (1984).

Embora a maioria da PTFs tenha sido desenvolvida para prever certas propriedades hidráulicas do solo dado aos custos de medição, outras importantes propriedades mensuráveis a partir de métodos mais sofisticados também podem ser estimadas, com isso diferentes abordagens têm sido utilizadas para o desenvolvimento de PTFs. Kay et al. (1997) utilizou as PTFs visando prever a sensibilidade e impactos nas propriedades estruturais do solo com as mudanças no conteúdo de carbono orgânico. Outro estudo com a utilização de PTFs foi desenvolvido em Alberta e Quebec, no Canadá, respectivamente, por Macdonald et al. (1998) para prever capacidade de troca catiônica (CTC) com base nos atributos carbono orgânico do solo e argila.

Deste modo, verifica-se que a utilização das PTFs através do emprego de dados analíticos e morfológicos facilita a predição de alguns indicadores utilizados na determinação dos graus de limitação das condições agrícolas das terras.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREAS DE ESTUDO, IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS GLEBAS PARA AMOSTRAGEM

O presente estudo foi realizado em estabelecimentos rurais na região Sudoeste da Amazônia, nos estados do Acre – municípios de Acrelândia, Xapuri e Brasiléia e em Rondônia – no município de Vila Nova Califórnia (Tabela 02). Os estabelecimentos foram selecionados por meio de amostragem não probabilística, usando uma amostragem intencional de 15 propriedades, em função das diferenças no histórico recente do uso da terra, dos processos de assentamento e pela alta expressão econômica em diversas atividades agrícolas.

TABELA 2 - Localização, tamanho e número de amostras coletadas nas áreas de estudo.

Localidade	PA/RESERVA	Propriedade/Colocação	Nº Hectares	Nº de Coletas
Acrelândia(AC)	Projeto de Assentamento Orion	1A - Linha 01 / Lote 304	56	7
		2A - Linha 04 / Lote 110	40	3
		3A - Linha 05 / Lote 026	28	5
		4A - Linha 03 / Lote 036	54	2
		5A - Linha 03 / Lote 159	98	4
		6A - Linha 03 / Lote 114	58	3
Xapuri (AC)	Projeto de Assentamento Agroextrativista Chico Mendes	1B - Colocação Fazendinha	122	6
		2B – Colocação 2/ Cachoeira	110	2
		3B – Colocação 3/Cachoeira	111	5
Brasileia (AC)	Reserva Agroextrativista Chico Mendes	1C-Colocação Rio de Janeiro	420	4
		2C -Colocação 05 de Agosto	700	7
		3C-Colocação Estiva	412	4
Vila Califórnia (RO)	Projeto RECA - Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado	1D - Maravilha	50	11
		2D - Baixa Verde	64	9
		3D -Mendes Junior	60	9

Cada estabelecimento foi percorrido realizando-se a divisão dos lotes em glebas para a amostragem de solos a partir de correlações entre o uso da terra e outros fatores como vegetação, área de várzeas, histórico de uso, zona

hidrodinâmica (Zona de sedimentação, Zona de erosão ou Zona de Recarga) e declividade do terreno.

Em cada gleba em local representativo do ambiente foram amostras de solos fora, obtidas com trado holandês nas profundidades de 0 - 25 cm, 25 - 65 cm e 65 a 100 cm, com observações quanto à profundidade de ocorrência de mosqueados, cores acinzentadas, presença de concreções, profundidade do solo (até onde não se encontraram impedimentos a penetração do trado, raízes e ou lençol freático); rochosoidade (estimativa da área de cobertura do solo, em porcentagem) e pedregosidade (estimativa pelo volume do solo em porcentagem) para fins de caracterização físico-químicos.

No total dos 15 estabelecimentos rurais foram identificadas 79 unidades de uso conforme a seguinte convenção: Culturas anuais (Monocultivos e consórcios); Culturas perenes (Monocultivos e consórcios); Sistemas Agroflorestais (Diferenciados pela a Idade do Saf's); Pastagens; Silvicultura ou Extrativismo vegetal e áreas de Preservação Permanente ou Reserva Legal (Figura 2).

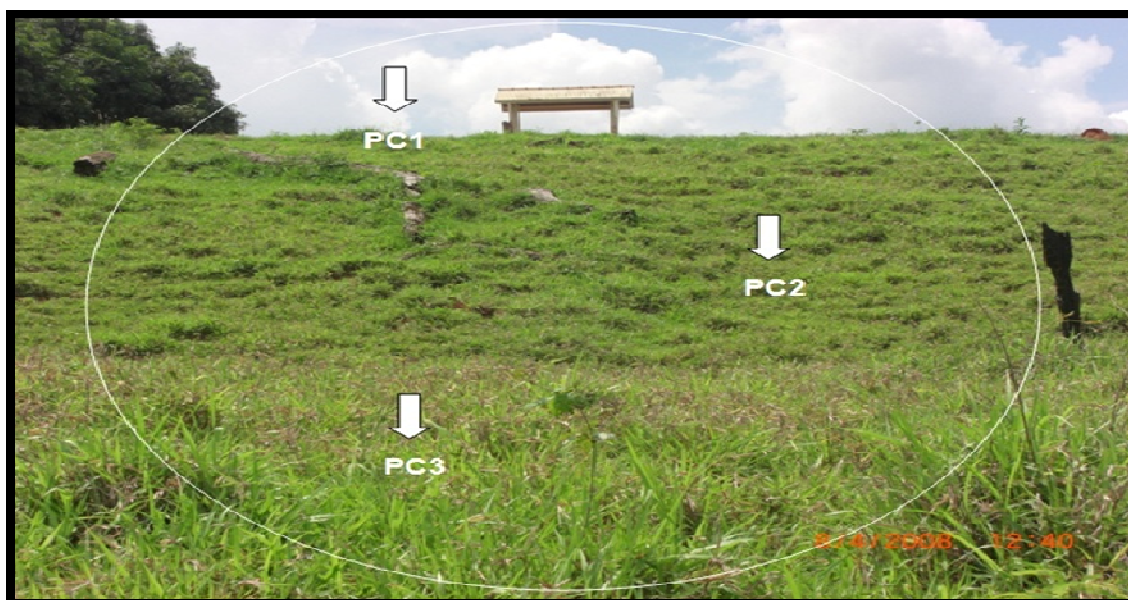


FIGURA 2 - Especificação de um dos Critérios utilizados na Seleção das Glebas para Amostragem. Unidade de Uso – Pastagem / Critério de escolha da Gleba para amostragem - Declividade , PC1 Ponto de coleta 1- Relevo Plano, PC2 - Relevo Forte Ondulado e PC3 - Relevo Plano;

## 3.2 ANÁLISE DE LABORATÓRIO

### 3.2.1 Análise Química

- a) Cátions trocáveis, fósforo remanescente, pH em água e KCl e Carbono orgânico.

Os procedimentos de extração e quantificação foram realizados, descritos e aplicados conforme o procedimento operacional padrão do laboratório de química de solos da Embrapa-AC (EMBRAPA, 1997), sendo determinados na TFSA, e constaram de: Fósforo remanescente determinado de acordo com ALVAREZ et al (2000), pH em água e em solução de KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , Carbono orgânico pelo método de oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor despreendido do ácido sulfúrico e aquecimento externo. Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis extraídos com solução de KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$ .

O cálcio e o magnésio foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica, e o alumínio por titulação com solução NaOH  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ , enquanto o potássio e sódio trocáveis foram extraídos com solução de HCl a  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  e quantificados por fotometria de chama. A acidez potencial (H + Al) foi extraída com solução de acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  ajustada a pH 7,0, e determinada por titulação com solução de NaOH a  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ .

### 3.2.2 Análise Física

- a) Análise Granulométrica

Determinação das frações argila, silte e areia na TFSA pelo método da pipeta (dispersão total). O método baseia-se na velocidade de queda das partículas que compõe o solo. Fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico (hidróxido de sódio). Pipeta-se um volume da suspensão, para determinação da argila que seca em estufa. As frações grosseiras (areia fina e areia grossa) são separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. O silte

corresponde ao complemento dos percentuais para 100% e é obtido por diferença das outras frações em relação à amostra original (EMBRAPA, 1997).

#### b) Densidade das Partículas

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico de acordo com Embrapa (1997).

### 3.2.3 Análise Estatística

Para a realização das análises estatísticas, as variáveis correspondentes aos indicadores utilizados para a interpretação do grau de limitação das terras quanto à aptidão agrícola foram reunidas em função de sua aplicação na definição da deficiência de fertilidade, deficiência de água e susceptibilidade à erosão.

Para cada conjunto de variáveis, foram determinadas as médias e desvio padrão em função dos diferentes grupamentos obtidos para os graus de limitação (nulo, ligeiro, moderado, forte e muito forte), excluindo-se os grupamentos com menos de dois casos avaliados. A seguir, para cada variável foi obtida a média e o desvio padrão em função do grau de limitação para cada um dos fatores de limitação. As mesmas variáveis foram analisadas quanto a sua capacidade de separar em grupos uniformes os diferentes graus de limitação, por meio da análise discriminante. Todas as variáveis foram inseridas no modelo no primeiro passo.

Para isto, as variáveis foram utilizadas sem qualquer transformação prévia, adotando-se a probabilidade igual para todos os grupos e computando-se a matriz de covariância dentro dos grupos para classificar cada um dos casos avaliados. Foi computado também o número de casos corretamente e incorretamente definidos para cada grupo baseado na análise discriminante, sendo apresentado o sumário destes casos.

### 3.3 INDICADORES EMPREGADOS NA OBTENÇÃO DOS GRAUS DE LIMITAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS

Foram adotados cinco fatores de limitação para análise das condições agrícola das terras: Deficiência de fertilidade, deficiência água, deficiência de oxigênio, suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização (Tabela 03), para cada um destes fatores foram definidos os indicadores edáficos de qualidade do solo, relacionados com os respectivos graus de limitação, mantendo-se a coerência conceitual proposta por Ramalho Filho e Beek (1995), porém com alterações no nível conceitual.

Os indicadores utilizados para a obtenção dos Graus de Limitação da Aptidão Agrícola foram àqueles atributos facilmente utilizados em análises de rotina de fertilidade e física de solo.

TABELA 3 - Indicadores para análise das condições agrícolas das terras

Fator de Limitação	Símbolo	Indicadores	Critérios de Obtenção
Deficiência de Fertilidade	f	Nutrientes, alumínio, fósforo, Razão de adsorção de Sódio, Condutividade elétrica, Atividade de Argila(T) Fósforo remanescente, Profundidade, Carbono orgânico	Análises de laboratório e através de cálculos
Deficiência de água	h	Precipitação total, Água disponível, T, Várzeas	definido em função dos dados climáticos Através de cálculos e Verificação em campo
Deficiência de Oxigênio	o	Drenagem, Ambiente de várzeas, Relevo, Volume de poros	Verificação em campo e através de cálculos simples
Suscetibilidade à erosão	e	Declividade, Erodibilidade, Mudança textural abrupta, T	Verificação em campo e através de cálculos simples
Impedimentos à mecanização	m	Profundidade, rochiosidade, pedregosidade, declividade, drenagem	Verificação em campo

Fonte: Adaptado de Ramalho Filho e Beek (1995).

Quando necessário inferir determinados indicadores de difícil mensuração ou mais onerosos, utilizaram-se as Funções de Pedotransferência (Tabela 04) que empregam dados primários também de fácil obtenção laboratorial.

TABELA 4 – Variáveis Preditas, Preditores e Funções de Pedotransferência para avaliação utilizada na determinação dos graus de limitação de fatores edáficos.

Variáveis Preditas	Preditores	Função de Pedotransferência	Referência
Capacidade de campo	Areia	$CC = 3,07439 + [0,629239 \times (100 - \text{areia})] + [0,00343813 \times (100 - \text{areia})^2]$	Arruda et al (1987)
Ponto de Murcha permanente	Areia	$PMP = [398,889 \times (100 - \text{areia})] / [1308,09 + (100 - \text{areia})]$	Arruda et al (1987)
Água Disponível	Areia, Dens. do solo	$AD = [(CC - PMP) / 10] \times \text{espessura} \times Ds$	Arruda et al (1987)
Densidade do solo	Argila, Carbono, Soma de bases	$Ds = 1,5600 - (1,0005 \times \text{argila}) - (0,010 \times C) + (0,0075 \times SB)$	Benites et al (2007)
Erodibilidade do Solo	Areia, Silte Argila, Carbono	$K = \{0,2 + 0,3 \exp[-0,0256 \times \text{areia} \times ((1 - \text{silte})/100)]\} \times \{(\text{silte} / (\text{argila} + \text{areia})) \times \exp(0,3)\} \times \{1 - (0,25 \times C / (C + \exp(3,72 - 2,95 \times C)))\} \times \{1 - ((0,7 \times SN1) / (SN1 + \exp(-5,51 + 22,9 \times SN1)))\}$	Nam et al (2003)

### 3.3.1 Indicadores empregados na determinação do grau de limitação da fertilidade do solo

Para inferir o grau de limitação das terras quanto à fertilidade do solo foram adotadas os seguintes Indicadores: Condutividade elétrica do extrato de saturação (CE), Razão de adsorção de sódio no extrato de saturação (SAR), Atividade da argila (T), Fósforo remanescente (Prem), Profundidade efetiva do solo (P), Saturação por alumínio (m), Saturação por bases (V), Carbono orgânico (Corg) e o teor de areia na fração terra fina seca ao ar (Areia). Todas representando as condições edáficas em amostra de solo obtida com trado retirada na profundidade de 0 a 25 cm, a exceção da variável P que foi avaliada até 100 cm de profundidade.

A descrição das variáveis e os parâmetros adotados na sua interpretação são descritos a seguir:

- a) Condutividade elétrica (CE): variável determinada segundo procedimento de Embrapa (1989) e adotou-se o valor de 2,0 dS m<sup>-1</sup> para a distinção entre

solos salinos e solos normais ou solos não salinos.

- b) Razão de adsorção de sódio (SAR): determinada conforme Embrapa (1989), adotando-se como critério para a distinção de solos sódicos aqueles com  $SAR \geq 15\%$  e solos não sódicos, aqueles com  $SAR < 15\%$
- c) Atividade de argila (T): determinada pelo somatório das cargas trocáveis totais do solo (soma dos teores de Ca, Mg, K, Na e Al trocáveis mais acidez potencial) dividido pelo teor de argila (Embrapa 1997; Embrapa, 2006), sem descontar a contribuição do carbono orgânico. Os critérios para distinção da atividade de argila foram:  $T < 13 \text{ cmolc}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ , considerada argila de baixa atividade;  $T$  entre 13 e  $27 \text{ cmolc}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ , considerada argila de média atividade e;  $T > 27 \text{ cmolc}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ , considerada argila de alta atividade. Solos com teor de argila maior que  $40 \text{ dag kg}^{-1}$  serão considerados como solos argilosos.
- d) Fósforo remanescente (Prem): determinado pela concentração de equilíbrio de Fósforo (P) após a adição de  $60 \text{ mg P kg}^{-1}$  solo. Solos com alta capacidade de adsorção de P foram considerados aqueles com  $Prem < 20 \text{ mg kg}^{-1}$ , e os com baixa capacidade de adsorção de P foram aqueles com  $Prem \geq 20 \text{ mg kg}^{-1}$ .
- e) Profundidade do solo (P): foi avaliada em função da ausência de impedimentos físicos à penetração de raízes até as profundidades de 50 e 100 cm sendo estes limites adaptados de Embrapa (2006):  $P < 50 \text{ cm}$ , solo raso;  $P$  entre 50 e 100 cm, solo pouco profundo e  $P > 100 \text{ cm}$ , solo profundo a muito profundo.
- f) Saturação por alumínio (m): foi considerada a porcentagem de alumínio trocável dividido pela capacidade de troca de cátions efetiva do solo (somados teores de Ca, Mg, K, Na e Al trocáveis). Os critérios foram  $m < 30\%$ , solos com baixa limitação quanto ao alumínio trocável;  $m > 30\%$ , solos com elevada limitação quanto ao alumínio trocável.
- g) Saturação por bases (V): foi considerada a porcentagem da soma de bases trocáveis (soma dos teores de Ca, Mg, K e Na trocáveis) dividido pela capacidade de troca de cátions do solo. O critério foi baseado em Embrapa

(2006), sendo que:  $V < 50\%$ , solos distróficos;  $V \geq 50\%$ , solos eutróficos. Quando a saturação por bases for menor que 25% e a atividade de argila for baixas, será considerada como saturação de bases muito baixa.

- h) Carbono orgânico (Corg): deve ser determinado por oxidação a quente em solução ácida de dicromato, sendo que solos com teor de carbono orgânico menor que  $0,6 \text{ dag kg}^{-1}$  (quando textura areia) serão considerados como solos pobres em matéria orgânica
- i) Areia: O teor de areia (areia) deve ser determinado na fração terra fina seca ao ar, conforme Embrapa (1989). Solos com teor de areia menor que  $85 \text{ dag kg}^{-1}$ , serão considerados como não arenosos e aqueles com teor de areia maior que  $\geq 85 \text{ dag kg}^{-1}$ , serão considerados solos arenosos.

#### 3.3.1.1 Definição dos Graus de limitação para Deficiência de Fertilidade

Os graus de limitação da capacidade de uso das terras quanto a fertilidade foram definidos em cinco categorias, adaptadas de RAMALHO FILHO e BEEK, (1995): nulo (N), ligeiro (L), moderado (M), forte (F) e muito forte (MF), com as seguintes conceituações:

- I. **Nulo (N)** – Refere-se a solos que possuem de média a elevadas reservas de nutrientes e sem problemas de limitação quanto à salinidade ou sodicidade. Estes solos devem apresentar uma CE menor que  $2 \text{ dS m}^{-1}$ , SAR deve ser menor que 15% e Areia  $< 850 \text{ g kg}^{-1}$ . Atendidas estas condições, estes solos devem apresentar alta atividade de argila e baixa capacidade de adsorção de fosfato ou, média atividade de argila, saturação de alumínio menor que 30%, serem solos profundos e com baixa capacidade de adsorção de fosfato.
- II. **Ligeiro (L)** – Refere-se a terras com médias reservas de nutrientes e sem problemas de limitação quanto à salinidade e sodicidade. Distinguem-se dos solos com grau de limitação nulo por apresentarem um fator de limitação relacionado à atividade de argila, profundidade ou capacidade de adsorção de fosfato. Estes solos devem apresentar uma CE menor que  $2 \text{ dS m}^{-1}$ , SAR deve ser menor que 15% e Areia  $< 850 \text{ g kg}^{-1}$ . Atendidas estas condições,

estes solos devem apresentar alta atividade de argila associada a alta capacidade de adsorção de fosfato, ou quando com média atividade de argila, deverão apresentar baixa saturação por alumínio associada a solos rasos ou pouco profundos, ou então, a solos com alta capacidade de adsorção de fosfato. Caso os solos apresentem baixa atividade de argila, deverão ser eutróficos e com baixa capacidade de adsorção de fosfato. Quando o solo apresentar argilas de alta atividade associada a alta adsorção de fosfato, será considerado a notação L1. Sendo o solo com médio potencial de estoque de nutrientes, quando associado a pequena profundidade será considerado L2 e quanto associado a elevada adsorção de fosfato, será considerado L3. Se o solo apresentar baixo potencial de estoque de nutrientes associado a baixa adsorção de fosfato, será considerado L4.

- III. **Moderado (M)** - Refere-se a terras com limitadas reservas de nutrientes devido a salinidade, acidez ou baixa reserva de nutrientes associadas a alta capacidade de adsorção de fosfato. São solos salinos, porém nunca sódicos. Não sendo salinos, devem apresentar Areia  $< 850 \text{ g kg}^{-1}$  associada a uma das condições seguintes: quando com argilas de média atividade, devem apresentar saturação por alumínio maior que 30%; quando com argilas de baixa atividade, devem ser eutróficos e com alta capacidade de adsorção de fosfato.
- IV. **Forte (F)** – Refere-se a solos com baixa reserva de nutrientes, associada ou não a elevada acidez ou com problemas de sodicidade não associada a salinidade. São solos sódicos, porém nunca salinos. Não sendo solos sódicos, apresentam Areia  $\geq 850 \text{ g kg}^{-1}$  e com teor de carbono orgânico maior que  $6 \text{ dag kg}^{-1}$  de solo; não sendo solos salinos, sódicos ou com Areia  $\geq 850 \text{ g kg}^{-1}$  são solos com argila de baixa atividade, distróficos, porém com saturação por bases (V) acima de 25%. Quando o solo apresentar limitação quanto a salinidade, sem associação com a sodicidade, será adotada a notação F1. Se a limitação estiver relacionada a baixo estoque de nutrientes associada à textura arenosa, mas com presença de matéria orgânica, será adotada a notação F2. Se tratar-se de solos de baixo estoque de nutrientes, textura não arenosa associado ao caráter distrófico, será será adotada a notação F3.
- V. **Muito Forte (MF)** - Refere-se a solos extremamente pobres em nutrientes

associados à elevada acidez ou com elevada salinidade associada à elevada sodicidade. São solos salinos e sódicos. Quando não sódicos, apresentam Areia  $\geq 850 \text{ g kg}^{-1}$  e com teor de carbono orgânico menor ou igual a  $6 \text{ dag kg}^{-1}$  de solo. Sendo solos não sódicos e com Areia  $< 850 \text{ g kg}^{-1}$  devem apresentar baixa atividade e saturação por bases muito baixa. Quando do solo apresentar limitação por elevada salinidade e sodicidade, será adotada a notação MF1; quando tratar-se de baixo estoque de nutrientes associado a solos de textura arenosa, será adotada a notação MF2; quando tratar-se de solos de baixo estoque de nutrientes, textura não arenosa e elevada acidez, será adotada a notação MF3.

### 3.3.2 Indicadores empregados na determinação do grau de limitação para deficiência de água

Para inferir o grau de limitação das terras quanto a deficiência de água foram utilizadas as seguintes variáveis: precipitação total (P), quantidade de água disponível do solo (AD), atividade de argila (T) e a ocorrência do solo em ambiente de várzeas planas (declividade abaixo de 3%) sujeitas a lençol freático elevado (acima de 60 cm) ou que apresentem sinais de riscos de inundação eventual. A precipitação média anual é definida em função dos dados climáticos da região, sendo um valor hoje disponível a partir de várias fontes, em todas as regiões do Brasil.

a) Atividade de argila (T): determinada pelo somatório das cargas trocáveis totais do solo (soma dos teores de Ca, Mg, K, Na e Al trocáveis mais acidez potencial) dividido pelo teor de argila, sem descontar a contribuição do carbono orgânico. Os critérios para distinção da atividade de argila foram:  $T < 27 \text{ cmolc}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$  considerada argila de baixa atividade e;  $T > 27 \text{ cmolc}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$  considerada argila de alta atividade.

b) Água disponível no solo: calculada para a profundidade de até 100 cm, a partir da seguinte expressão:

$$AD = ADc_1 + (0,78 \times ADc_2) + (0,50 \times ADc_3)$$

Onde:

**$ADc_1$ ,  $ADc_2$  e  $ADc_3$**  - correspondem a quantidade de água disponível armazenada nas camadas de 0 a 25cm, de 25 a 60 cm e de 60 a 100 cm de profundidade. Em cada camada, a água disponível (AD) é calculada pela equação de pedotransferência proposta por Arruda et al (2004):

$$AD = [(CC - PMP)/10] \times \text{espessura} \times Ds$$

Em que:

**CC** - Capacidade de campo, em porcentagem, estimada pela equação:

$$CC = 3,07439 + [0,629239 \times (100 - \text{areia})] + [0,00343813 \times (100 - \text{areia})^2]$$

**PMP** - Ponto de murcha permanente, em porcentagem, estimada pela equação:

$$PMP = [398,889 \times (100 - \text{areia})] / [1308,09 + (100 - \text{areia})]$$

**Espessura** - Tamanho da camada de amostragem, respectivamente de 25, 35 e 40 cm para as camadas de 0 a 25 cm, de 25 a 60 e de 60 a 100 cm;

**Ds** - Densidade do solo, em  $\text{dag kg}^{-1}$ , calculada pela equação de pedotransferência (Benites et al., 2007):

$$Ds = 1,5600 - (1,0005 \times \text{argila}) - (0,010 \times C) + (0,0075 \times SB)$$

Onde:

**Argila** - Teor de argila; **C** - Teor de Corg; **SB** - Soma de bases trocáveis do solo (Ca + Mg + K + Na).

c) Ambiente de Várzeas: O indicador de ambiente de várzea tem como finalidade representar áreas em zonas de sedimentação nas bacias hidrográficas (áreas que recebem águas superficiais de pontos mais elevados da bacia hidrográfica) ou áreas sujeitas a inundações periódicas devido ao transbordamento das redes de drenagem. A exigência de a área apresentar relevo plano (declividade < 4%) é um condicionante relacionado ao tempo de permanência do excesso de água sobre a superfície do terreno

### 3.3.2.1 Definição dos Graus de limitação para Deficiência de água

Os graus de limitação da capacidade de uso das terras quanto a deficiência por água foram definidos em cinco categorias, adaptadas de Ramalho Filho e Beek, (1995): nulo(N), ligeiro(L), moderado(M), forte (F) e muito forte (MF), conforme se descreve a seguir:

- I. **Nulo (N):** terras em que não há falta de água para o desenvolvimento das culturas em nenhuma época do ano, seja pela elevada precipitação em solos com elevada capacidade de armazenamento de água, ou pela ocorrência em áreas com lençol freático elevado (solos de várzeas em relevo plano). Nesta categoria devem ser inclusas as terras com grau de limitação intermediário (nulo / ligeiro) descrito por Ramalho Filho e Beek (1995). São terras localizadas em ambiente de várzeas planas e com lençol freático elevado, ou com riscos de inundação eventual, ou ainda em regiões com precipitação pluviométrica total acima de 1600 mm, em solos com AD > 78 mm e com ausência de argilas de alta atividade.
- II. **Ligeiro (L):** terras em que ocorre uma deficiência de água pouco acentuada, onde a capacidade de água armazenada no solo e o regime pluviométrico não são suficientes para permitir dois cultivos anuais sem perda significativa da produtividade (o cultivo de safrinha resultará em uma produtividade pelo menos 80% inferior ao cultivo da safra principal); cultivos de ciclo longo poderão ser pouco afetados se o período seco coincidir com período de menor atividade fisiológica das plantas. São terras altas ou com declividade acima de 3%, com lençol freático abaixo de 60 cm, que quando em regiões com precipitação acima de 1600 mm anuais, ocorrem em solos com alta atividade de argila e AD acima de 60 mm, ou se em solos de baixa atividade de argila, estão associados a solos com AD entre 40 e 60 mm, se em regiões com precipitação entre 1000 e 1600 mm anuais ocorrem em solos com AD > 60 mm e com baixa atividade de argila.
- I. **Moderado (M):** terras em que ocorre uma acentuada deficiência de água, com o desenvolvimento das culturas sendo restrito pela falta de água por um

período de 4 a 6 meses. Somente é viável a safra principal e o desenvolvimento de culturas de ciclo longo torna-se bastante afetado para aquelas com baixa adaptação ao déficit hídrico, com perda significativa de seu potencial produtivo. A produtividade da safrinha será sempre inferior a 50% a da safra principal. São terras altas ou com declividade acima de 3%, com lençol freático abaixo de 60 cm, que quando em regiões com precipitação acima de 1600 mm anuais, ocorrem em solos com AD abaixo de 40 mm, ou se a AD for entre 40 e 60 mm, estão associados a argilas de alta atividade; ou, se em solos com AD < 60 mm, estão associados a argilas de baixa atividade; se em regiões com precipitação entre 700 e 1000 mm anuais, ocorrem em solos com argilas de baixa atividade e com AD > 75 mm.

- II. **Forte (F):** terras em que ocorre forte deficiência de água, seja pela baixa capacidade do solo em armazenar água, ou pela baixa precipitação pluviométrica, onde a carência de água pode atingir de 6 a 9 meses. O desenvolvimento das culturas é restrito ao período chuvoso e na ausência de chuvas por curtos períodos as plantas apresentam logo sinais de déficit hídrico. O desenvolvimento das culturas de ciclo longo, não adaptadas à falta de água é bastante restrito, a ponto de comprometer a sobrevivência das plantas não somente a produtividade comercial. São terras altas ou com declividade acima de 3%, com lençol freático abaixo de 60 cm, que quando em regiões com precipitação entre 1000 e 1600 mm anuais, ocorrem em áreas com AD < 60 mm e associados a argilas de alta atividade; se em regiões com precipitação entre 700 e 1000 mm, estão associados a solos com argilas de alta atividade, ou então, apresentam água disponível entre 40 e 75 mm quando associados a argilas de baixa atividade; se em regiões com precipitação entre 500 e 700 mm, ocorrem em áreas com argilas de baixa atividade.
- III. **Muito Forte (MF):** Terras sujeitas a severa deficiência de água, normalmente com duração acima de 9 meses, sendo possível apenas o desenvolvimento de plantas altamente especializadas para crescimento em condições de severa deficiência hídrica. São terras altas ou com declividade acima de 3%, com lençol freático abaixo de 60 cm, que quando em regiões com precipitação entre 700 e 1000 mm anuais, ocorrem em áreas com AD < 40

mm associados a argilas de baixa atividade ou, se em regiões com precipitação abaixo de 700 mm anuais, ocorrem em áreas associadas a argilas de alta atividade ou ocorrem em regiões com precipitação anual abaixo de 500 mm se em solos com argilas de baixa atividade

### 3.3.3 Indicadores empregados na determinação do grau de limitação para deficiência de oxigênio

Para inferir os graus de limitação por deficiência de oxigênio foram definidos como indicadores os seguintes parâmetros: Ambiente de várzeas, relevo local, o grau de restrição à drenagem e a porcentagem do volume dos poros do solo ocupados por ar (valor A).

a) Grau de restrição à drenagem: é classificado com notas que variam de 0 a 4. Este indicador é definido em função do grau de restrição imposta pela drenagem do solo ao adequado desenvolvimento do sistema radicular de culturas adaptadas a condições de terras altas. Esta restrição associa-se à profundidade em que ocorrem características indicativas de deficiência de drenagem, como lençol freático elevado, mosqueados ou cores acinzentadas, camadas de impedimento ou presença de argila de alta atividade (T). Esta última característica, quando presente em qualquer camada avaliada conduz a baixa permeabilidade. A atividade de argila é avaliada em função do valor limite de  $27 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ , sendo considerados solos com argilas de alta atividade aqueles cuja atividade é maior que este valor limite. As características relacionadas ao grau de restrição à drenagem devem ser avaliadas visualmente no momento da amostragem do solo, anotando-se, quando presente, a profundidade em que ocorrem

b) Percentual do volume de poros ocupados pelo ar (valor A) : é dado pela expressão:

$$A = (V_t - CC) \times 100 / V_t,$$

Onde:

**$V_t$  (%)** - Porosidade total do solo, calculada pela expressão :

$$V_t = (1 - D_s / D_p) \times 100$$

A  $D_s$  e a  $CC$  são estimadas pela mesmas equações de pedotransferência usadas para a estimativa da disponibilidade de água no solo. A densidade das partículas ( $D_p$ ) é determinada pelo método do balão volumétrico. O valor  $A$ , a ser adotado, deverá consistir sempre no menor valor determinado nas profundidades de 0 a 25 cm, 25 a 60 cm e de 60 a 100 cm, independente da camada em que este menor valor ocorra.

Os valores críticos para a porcentagem de volumes de poros ocupados com ar foram definidos como: acima de 20%, bem aerados; de 10 a 20%, média aeração; abaixo de 10%, baixa aeração.

QUADRO 2 - Quadro-Guia para definição dos graus (G) de restrição à drenagem.

Grau	Atributos: Lençol freático e, ou, cores acinzentadas ou mosqueados; duripan ou fragipan
0	Ausência do atributo
1	Presença abaixo de 80 cm ou $T > 27 \text{ cmolc}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$
2	Presença entre 60 e 80 cm
3	Presença entre 25 e 60 cm
4	Presença a menos de 25 cm

### 3.3.3.1 Definição dos Graus de limitação para Deficiência de Oxigênio

Os graus de limitação da capacidade de uso das terras quanto deficiência por oxigênio foram definidos em cinco categorias, adaptadas de Ramalho Filho e Beek, 1995): nulo(N), ligeiro(L), moderado(M), forte (F) e muito forte (MF), conforme se descreve a seguir:

- I. **Nulo (N):** solos sem problemas de aeração ao sistema radicular da maioria das culturas durante todo o ano. Estes solos estão localizados em áreas que possuem declividade maior que 3%, ou, quando em locais planos, não estão situados em ambiente de várzeas. Adicionalmente, a porcentagem da porosidade do solo ocupada com água gravitacional<sup>6</sup> é maior que 20% e apresentam grau 0 de restrição à drenagem.

<sup>6</sup> É a água drenada antes que a  $CC$  seja atingida. Este termo equivale ao estoque de água em poros grandes, em processo de percolação

- II. **Ligeiro (L):** solos com certa deficiência de aeração às culturas sensíveis ao excesso de água durante a estação chuvosa; são em geral moderadamente drenados. Estes solos estão localizados em áreas que possuem declividade maior que 3%, ou, quando em locais planos, não estão situados em ambiente de várzeas. Adicionalmente, a porcentagem da porosidade do solo ocupada com água gravitacional é maior que 20% e apresentam grau 1 de restrição à drenagem.
- III. **Moderado (M):** solos nas quais a maioria das culturas sensíveis à deficiência de oxigênio não se desenvolve satisfatoriamente; são considerados imperfeitamente drenados e sujeitos a riscos ocasionais de inundação. Estes solos estão localizados em áreas que possuem declividade maior que 3%, ou, quando em locais planos, não estão situados em várzeas. Quando a porcentagem da porosidade do solo ocupada com água gravitacional é maior que 20%, apresentam grau 2 de restrição à drenagem ou, se a porcentagem da porosidade do solo ocupada com água gravitacional é maior que 10%, porém menor que 20% do volume de poros, devem apresentar grau 0 de restrição à drenagem
- IV. **Forte (F):** solos que apresentam sérias deficiências, só permitindo o desenvolvimento de culturas adaptadas. Demandam intensos trabalhos de drenagem artificial; são considerados mal drenados, muito mal drenados ou sujeitos a inundações freqüentes e prejudiciais à maioria das culturas. Estes solos quando situados em relevo plano e em ambientes de várzea, apresentam a porcentagem da porosidade do solo ocupada com água gravitacional maior que 20%.Esses solos, quando em áreas de relevo com declividade maior que 3% ou, se em áreas planas não se encontram em várzeas, possuem uma das seguintes características:
- a) se apresentarem porcentagem da porosidade do solo ocupada com água gravitacional maior que 20%, têm restrição à drenagem de grau 3;
  - b) se apresentarem porcentagem da porosidade do solo ocupada com água gravitacional maior que 10% e menor que 20%, têm restrição à drenagem de grau 1 ou;
  - c) se apresentarem porcentagem da porosidade do solo ocupada com água gravitacional menor que 10%, têm restrição à drenagem de grau 0.

- v. **Muito forte (MF):** solos com o mesmo grau de drenagem do grau anterior, porém que demandam grandes obras de engenharia para o melhoramento das terras, fora do alcance do agricultor, individualmente. Estes solos quando planos e em áreas de várzea, apresentam a porcentagem da porosidade do solo ocupada com água gravitacional menor ou igual a 20%. Esses solos, quando situados em áreas de relevo com declividade maior que 3% ou, se em áreas planas não se encontram em várzeas, possuem uma das seguintes características:
- a) se apresentarem porcentagem da porosidade do solo ocupada com água gravitacional maior que 20%, têm restrição à drenagem de grau maior que 3;
  - b) se apresentarem porcentagem da porosidade do solo ocupada com água gravitacional maior que 10% e menor que 20%, têm restrição à drenagem de grau maior que 1 ou;
  - c) se apresentarem porcentagem da porosidade do solo ocupada com água gravitacional menor que 10%, têm restrição à drenagem de grau maior que 0.

#### 3.3.4 Indicadores empregados na determinação do grau de limitação quanto a suscetibilidade à erosão

Para inferir os graus de limitação quanto ao fator suscetibilidade à erosão foram definidos quatro indicadores (PEREIRA et al., 2004): declividade média do terreno (Dec), mudança textural (MT), atividade de argila (T) associada a solos com alto teor de argila (Arg) e o fator de erodibilidade do solo (K). Para obter precisão dos dados, a declividade média do terreno deve ser avaliada de forma direta no campo, com a utilização de clinômetro. A utilização do clinômetro implica em um pequeno investimento, porém é de fácil utilização e permite a determinação deste parâmetro com uma boa exatidão.

- a) Mudança textural (MT): Deve ser determinada pela relação entre o teor de argila entre duas camadas imediatamente subjacentes, sendo considerada mudança, quando o teor for superior a 125% entre duas camadas.

b) Erodibilidade (K): O fator de erodibilidade deverá ser calculado pela equação de pedotransferência proposta por (Williams et al., 1984, apud Zhang, 2008). A escolha deste modelo foi pelo fato de os autores utilizarem variáveis de fácil mensuração:

$$K = \{0,2+0,3\exp[-0,0256 \times \text{areia} \times ((1-\text{silte})/100)]\} \times \{(\text{silte} / (\text{argila} + \text{areia})) \times \exp(0,3)\} \times \{1 - (0,25 \times C / (C + \exp(3,72-2,95 \times C)))\} \times \{1 - ((0,7 \times \text{SN1}) / (\text{SN1} + \exp(-5,51+22,9 \times \text{SN1})))\}$$

Onde:

**SN1**: 1 – (Areia/100)

**Silte**: porcentagem de silte na fração terra fina seca ao ar (TFSA);

**Areia**: porcentagem de areia na fração TFSA;

**Argila**: porcentagem de argila na fração TFSA e;

**C**: teor de carbono na fração TFSA.

#### 3.3.4.1 Definição dos Graus de limitação para Suscetibilidade à erosão

Os graus de limitação da capacidade de uso das terras quanto ao atributo suscetibilidade à erosão foram definidos em cinco categorias: nulo (N), ligeiro (L), moderado (M), forte (F) e muito forte (MF), adaptadas de Ramalho Filho e Beek, (1995) e Pereira et al. (2004) .

- I. **Nulo (N)**: solos não suscetíveis à erosão e em relevo plano ou com desníveis muito pequenos, onde o escoamento da água ocorre muito lentamente e a desagregação do solo é pouco provável. Estes solos devem ocorrer em áreas com declividade inferior a 4% e apresentar um fator de erodibilidade menor que 0,2 t.h.MJ<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup> ou estarem associados a área de várzea.
- II. **Ligeiro (L)**: solos pouco suscetíveis à erosão apresentam boas propriedades físicas, quando em relevo com alguma declividade, ou ocorrem em áreas planas. Nestas terras, a erosão pode ser controlada por práticas conservacionistas simples. Estes solos devem ocorrer em áreas com declividade inferior a 3% e apresentar um fator de erodibilidade entre 0,1 a 0,3 t.h.MJ<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup> Quando em áreas com declividade entre 3% e 8%, o fator de erodibilidade deve ser menor que 0,2 t.h.MJ<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup>.
- III. **Moderado (M)**: solos com moderada susceptibilidade à erosão, que quando

utilizados fora dos princípios conservacionistas apresentam sulcos e voçorocas, exigindo a adoção de práticas de controle da erosão desde o início de sua utilização. Estes solos quando em relevo com declividade menor que 3%, apresentam fator de erodibilidade entre 0,03 e 0,04 t.h.MJ<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup> quando em relevo entre 3 e 8% de declividade, apresentam mudança textural abrupta ou atividade de argila > 27 cmolc<sup>(+)</sup> kg<sup>-1</sup> e teor de argila > 400 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0 a 25 cm ou fator de erodibilidade entre 0,03 e 0,04 t.h.MJ<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup>; quando em relevo entre 8 a 13%, apresentam mudança textural abrupta ou atividade de argila > 27 cmolc<sup>(+)</sup> kg<sup>-1</sup> solo e teor de argila > 400 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0 a 25 cm ou fator de erodibilidade menor que 0,01 t.h.MJ<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup>.

- IV. **Forte (F)**: solos com acentuada suscetibilidade à erosão, exigindo práticas intensivas de controle para seu uso agrícola. O relevo favorece um escoamento superficial muito rápido ou as características físicas são muito desfavoráveis. Estes solos, quando em relevo com declividade menor que 3%, apresentam fator de erodibilidade maior que 0,04 t.h.MJ<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup>. Quando em relevo com declive entre 3 e 8%, o fator de erodibilidade é entre 0,03 e 0,04 t.h.MJ<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup>. Quando em relevo com declive entre 8 e 13%, o fator de erodibilidade é entre 0,01 e 0,03 t.h.MJ<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup>. Quando em relevo com declividade entre 13 e 20%, apresentam fator de erodibilidade menor que 0,01 t.h.MJ<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup>.
- V. **Muito forte (MF)**: solos com severa susceptibilidade à erosão, cujas práticas de controle da erosão são dispendiosas ou antieconômicas; ocorrem em relevos ondulados a montanhoso ou associados a condições físicas extremamente desfavoráveis. Estes solos quando em relevo com declividade entre 3 e 8%, apresentam fator de erodibilidade maior que 0,04 t.h.MJ<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup>; quando em relevo com declive entre 8 e 13%, o fator de erodibilidade é maior que 0,03 t.h.MJ<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup>; quando em relevo com declive entre 13 e 20%, o fator de erodibilidade é maior que 0,01 t.h.MJ<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup>; ou ainda ocorrem em relevo com declividade maior que 20%.

### 3.3.5 Indicadores utilizados na determinação do grau de limitação quanto aos impedimentos à mecanização

Para inferir os graus de limitação quanto ao atributo impedimentos à mecanização, consideraram-se as seguintes variáveis: Declividade do terreno, textura do solo (teor de argila e de areia), profundidade do solo, rochosidade e pedregosidade (incluindo concreções endurecidas, como petroplintita) e drenagem do solo.

A dimensão mínima do terreno a ser avaliada deve ser de 1 ha. Se a área for menor que esta dimensão, deverá ser avaliada como parte de áreas adjacentes. Os indicadores profundidade do solo, rochosidade, pedregosidade e drenagem foram reunidos em um quadro guia (Quadro 3), classificando-os em notas de 0 a 4, segundo o aumento da restrição ao funcionamento normal das máquinas agrícolas.

A seguir, o grau de restrição à mecanização foi associado aos demais indicadores para definir os cinco graus de limitação quanto aos impedimentos à mecanização. Para obter precisão dos dados, a declividade média do terreno deve ser avaliada de forma direta no campo, com a utilização de clinômetro. O teor de areia e de argila será determinado na fração terra fino seca ao ar (EMBRAPA, 1989). Os critérios adotados para distinção do grau de limitação foram: argila  $> 400 \text{ g kg}^{-1}$  ou areia  $> 840 \text{ g kg}^{-1}$ .

A pedregosidade e rochosidade foram avaliadas conforme a sua proporção no terreno, em relação à área de exposição na superfície e ao volume da amostra, respectivamente. A rochosidade, a pedregosidade e a drenagem foram reunidos em um quadro guia (Quadro 3), classificando-os em notas de 0 a 4, segundo o aumento da restrição ao funcionamento normal das máquinas agrícolas. A seguir, o grau de restrição à mecanização foi associado aos demais indicadores para definir os cinco graus de limitação quanto aos impedimentos à mecanização.

QUADRO 3 - Quadro-guia para definição dos graus (G) de restrição à mecanização

Grau	Rochosidade (% área de exposição)	Pedregosidade (%volume ocupado)	Drenagem (Lençol freático/cores acinzentadas ou mosqueados)	Profundidade (cm)
0	Sem rochas	Sem pedregosidade	Ausência	> 100
1	< 2	2 a 15	Presença abaixo de 80 cm	80 a 100
2	2 a 15	15 a 50	Presença entre 60 e 80 cm	50 a 80
3	15 a 50	50 a 75	Presença entre 30 e 60 cm ou caráter vértico	25 a 50
4	> 50	> 75	Presença a menos de 30 cm	< 25

### 3.3.5.1 Definição dos Graus de limitação quanto aos impedimentos à mecanização

Os graus de limitação da capacidade de uso das terras quanto ao atributo impedimento a mecanização, foram agrupados em cinco categorias, adaptadas de RAMALHO FILHO; BEEK, 1995): nulo(N), ligeiro(L), moderado(M), forte (F) e muito forte (MF), com as seguintes conceituações:

- I. **Nulo (N):** solos onde não ocorrem impedimentos às operações agrícolas mecanizadas em qualquer época do ano, cujo rendimento em horas trabalhadas é superior a 90%. São solos localizados em terreno com declividade inferior a 3%, grau de restrição à mecanização igual a zero, apresentando ainda teor de argila inferior a  $400 \text{ g kg}^{-1}$  e teor de areia inferior a  $840 \text{ g kg}^{-1}$  solo.
- II. **Ligeiro (L):** Solos onde a mecanização é possível em quase todo o período do ano e cujo rendimento das operações mecanizadas é entre 75 a 90%. São solos que ocorrem em terrenos com declividade inferior a 3% e apresentam grau 1 de restrição à mecanização, ou se com grau 0 de restrição à mecanização, apresentam ou teor de argila superior a  $400 \text{ g kg}^{-1}$  ou teor de areia superior a  $840 \text{ g kg}^{-1}$  de solo. Quando localizados em terrenos com declividade entre 3 e 8%, estes solos apresentam grau de restrição 0 à mecanização, teor de argila inferior a  $400 \text{ g kg}^{-1}$  e teor de areia inferior a  $840 \text{ g kg}^{-1}$  de solo.
- III. **Moderado (M):** Solos que não permitem o emprego de máquinas ordinariamente utilizadas durante todo o ano e cujo rendimento das

operações mecanizadas normalmente situa-se entre 50 a 75%. São solos que quando localizados em terrenos com declividade menor que 3%, apresentam grau 2 de restrição à mecanização, se localizados em terrenos com declividade entre 3 e 8%, apresentam grau 1 de restrição à mecanização ou, se com grau 0 de restrição à mecanização, apresentam teor de argila superior a  $400 \text{ g kg}^{-1}$  e atividade de argila maior que  $27 \text{ cmolc(+) kg}^{-1}$  de solo. Quando em terrenos com declividade entre 8 e 13%, apresentam grau 0 de restrição à mecanização.

- IV. **Forte (F)**: Solos onde a mecanização é restrita a tração animal ou a máquinas especiais; sendo que o rendimento das operações de mecanização é inferior a 50%. São solos que quando localizados em terreno com declividade inferior a 3%, apresentam grau 3 de restrição à mecanização; se associados a terrenos com declividade entre 3 e 8%, apresentam grau 2 de restrição à mecanização; se associados a terrenos com declividade entre 8 e 13%, apresentam grau 1 de restrição à mecanização; se em terrenos com declividade entre 13 e 20%, devem apresentar grau 0 de restrição à mecanização.
- V. **Muito forte (MF)**: São solos que quando associados a terrenos com declividade inferior a 3%, apresentam grau de restrição à mecanização maior que 3; quando associados a terrenos com declividade entre 3 e 8%, apresentam grau de restrição à mecanização maior que 2; quando associados a terrenos com declividade entre 8 e 13%, apresentam grau de restrição à mecanização maior que 1; quando associados a terrenos com declividade entre 13 e 20%, apresentam grau de restrição à mecanização maior que 0 ou, são solos que ocorrem em terrenos com declividade superior a 20%.

## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A correta interpretação da aptidão agrícola das terras fundamenta-se na determinação dos graus de limitação das terras quanto a cinco fatores: deficiência de fertilidade do solo, deficiência de água, deficiência de oxigênio, susceptibilidade à erosão e impedimentos à mecanização.

Cada um destes fatores determina, em função do nível tecnológico, a capacidade do solo em suportar sistemas agrícolas de maior ou menor intensidade de uso, e, portanto, sua aptidão para diferentes grupos de exploração agrícola.

Todos os cinco fatores são igualmente importantes, de modo que estando qualquer um deles em grau de limitação elevado, haverá restrição a determinado grupo de culturas. Entretanto, neste estudo, optou-se por avaliar os graus de limitação para três destes fatores: deficiência de fertilidade, deficiência de água e susceptibilidade à erosão.

A deficiência de fertilidade é particularmente importante em regiões agrícolas afastadas dos centros produtores de insumos, e, particularmente, para sistemas agrícolas dos níveis tecnológicos A e B, que predominam nesta região da Amazônia.

A deficiência de oxigênio normalmente está associada a solos mal drenados em função de sua posição no relevo, embora, nesta região da Amazônia ocorra também devido a propriedades mineralógicas da fração argila e silte dos solos, processo que também resulta em disponibilidade de água disponível. Por este motivo, optou-se por avaliar unicamente a deficiência de água, particularmente relevante em uma região onde apesar dos elevados níveis pluviométricos, é comum a ocorrência na vegetação natural de espécies vegetais tolerantes ao estresse hídrico, como gramíneas do gênero *Guadua* (bambus).

Quanto aos impedimentos à mecanização, pelo fato desta tecnologia estar associada principalmente ao nível tecnológico C, ainda insipiente nesta região, não foi considerada prioritária. Por outro lado, a susceptibilidade à erosão é particularmente importante se considerado que, principalmente na região deste estudo, concentra-se a maior proporção de conversão de áreas florestais em áreas agrícolas, expondo o solo aos processos erosivos com maior frequência e intensidade.

## 4.2 GRAUS DE LIMITAÇÃO QUANTO À FERTILIDADE DO SOLO

Nos solos avaliados, foram identificados quatro graus de limitação quanto à fertilidade do solo: nulo (N), ligeiro (L), moderado (M3) e forte (F3). Os graus moderado e forte estiveram associados à acidez do solo.

Os indicadores adotados para a distinção dos graus de limitação quanto a fertilidade do solo foram atividade de argila, o teor de carbono orgânico, o teor de areia, o teor de fósforo remanescente, a saturação por bases e saturação por alumínio, todos na camada de 0 a 25 cm de profundidade. Em geral, todos os indicadores apresentam larga variação no seu valor, e à exceção do teor de carbono orgânico, a análise de variância mostrou haver diferenças na média do valor de cada indicador dentro das diferentes classes para o grau de limitação (Tabela 4).

TABELA 2 - Média, desvio padrão, valor mínimo e máximo, valor do teste F de variâncias e respectiva significância, para os indicadores utilizados na determinação do grau de limitação quanto a fertilidade do solo.

Indicadores	Médias	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo	F	Sig.
Carbono orgânico (dag kg <sup>-1</sup> )	2,1	0,8	0,1	4,1	1,7	0,18
Teor de areia (dag kg <sup>-1</sup> )	32,7	22,9	2,2	74,6	9,2	0,00
Fósforo remanescente (mg kg <sup>-1</sup> )	25,0	11,9	1,0	45,0	43,6	0,00
Atividade da argila (cmolc <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )	58,3	31,9	11,2	100,0	8,5	0,00
Saturação por bases (dag kg <sup>-1</sup> )	34,9	21,9	2,7	92,6	5,4	0,00
Saturação por alumínio (dag kg <sup>-1</sup> )	28,9	22,5	0,0	85,5	6,4	0,00

Apesar do teste F indicar haver diferença entre as classes de limitação para deficiência de fertilidade, o teor de carbono orgânico, a saturação por bases e saturação de alumínio não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 5).

Os solos com grau nulo de limitação de fertilidade foram aqueles com maior teor de carbono, menor fixação de fósforo, maior atividade de argila e maior teor de areia. Embora coerente a maior atividade de argila estar associada ao menor grau de limitação quanto a fertilidade, deve-se considerar que no cálculo da atividade de argila não foi estimada a contribuição à CTC do solo dada pela matéria orgânica, de forma que este valor pode estar sendo superestimado.

A menor limitação a fertilidade do solo associada a solos com maiores teores de areia é incoerente, assim como a não dependência entre a fertilidade do solo e a saturação de alumínio e de bases, mesmo se considerado que na região ocorrem solos sedimentares com forte influência de deposições vulcânicas, geologicamente recentes (GAMA et al., 1992).

Parte deste resultado, pode, entretanto, ser explicado pela contribuição dos minerais primários que contribuem de forma significativa com a fertilidade desses solos, considerando-se ainda, que na média, glebas com grau nulo de fertilidade foram também aquelas que apresentaram maior atividade de argila, o que é indicativo de minerais secundários pouco intemperizados (LIMA et al, 2006), mesmo com o difícil entendimento causado pela não estimativa da contribuição da matéria orgânica na CTC do solo, principalmente na camada de 0 a 25 cm onde o teor de matéria orgânica é mais elevado.

TABELA 3 - Valores médios do teor de carbono orgânico, teor de areia, teor de fósforo remanescente, da atividade de argila e da saturação por bases e de alumínio para os diferentes graus de limitação quanto a fertilidade do solo.

GL	Indicadores					
	Carbono orgânico (dag kg <sup>-1</sup> )	Teor de areia (dag kg <sup>-1</sup> )	Fósforo remanescente (mg kg <sup>-1</sup> )	Atividade de argila (cmolc <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )	Saturação por bases (dag kg <sup>-1</sup> )	Saturação por alumínio (dag kg <sup>-1</sup> )
<b>Médias</b>						
N	2,06 a	42,96 a	33,46 a	68,17 a	43,34 a	20,13 a
L	2,21 a	19,16 ab	13,62 a	58,17 ab	27,10 a	38,60 a
M <sub>2</sub>	1,50 a	35,24 ab	24,71 b	21,24 bc	18,39 a	46,51 a
F <sub>3</sub>	1,89 a	8,99 c	12,00 b	11,94 c	28,27 a	20,86 a

\*Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Na grande parte das glebas analisadas verificou-se de acordo a regra proposta, valores de médio a baixos, para o indicador saturação por bases (V% < 50 e V% < 25), e altos valores para o indicador saturação por Alumínio (m > 30), entretanto, de acordo com as características mineralógicas dos solos da região, quando a acidez está associada a argilas de alta atividade, não representa uma limitação para a fertilidade do solo (WADT, 2002). Este entendimento baseia-se nos trabalhos de Gama e Kiehl (1999), que concluíram que em alguns solos desta região, mesmo apresentando elevados teores de alumínio trocável, não resultam em

toxicidade para as culturas, ou em redução do desenvolvimento das plantas cultivadas.

Tendo-se definido os quatro graus de limitação quanto à fertilidade do solo (N, L, M3 e F3), utilizaram-se os indicadores atividade de argila, o teor de carbono orgânico, o teor de areia, o teor de fósforo remanescente, a saturação por bases e saturação por alumínio, todos na camada de 0 a 25 cm de profundidade para determinar, por meio de análise multivariada discriminante, quais destes foram mais relevantes para distinção dos diferentes grupos de limitação.

Os resultados indicaram que para estes quatro grupos de limitação, as duas principais funções canônicas são suficientes para discriminar os grupos (Tabela 6).

TABELA 4 - Seleção das funções discriminantes para a matriz de dados dos indicadores de qualidade do solo utilizados para a determinação dos Graus de limitação por deficiência fertilidade.

Função	Auto valor	% Variância	% Var. Acumulada	Correlação Canônica	Após a função	$\Lambda$	$\chi^2$	GL	Sig*
1	1,99	78,5	78,5	0,81	1 - 3	0,21	112,42	18	0,00
2	0,44	17,4	95,9	0,55	2 - 3	0,62	33,46	10	0,00
3	0,10	4,1	100	0,30	3	0,90	7,17	4	0,12

\* Significância a 95% de probabilidade.

As duas primeiras funções canônicas explicaram 96% da variabilidade acumulada; o teste de significância de qui-quadrado ( $\chi^2$ ) e o valor Lambda de Wilks ( $\lambda^*$ ) mostram como as informações nas sucessivas funções discriminantes são extraídas. Verifica-se que ao ser retirada a primeira função discriminante, o valor ( $\lambda^*$ ) de 0,21, sugere que os indicadores possuem um considerável poder de discriminação. Tal situação continua sendo observada ao ser extraída a segunda função. Deste modo na terceira função discriminante observa-se que o valor referentes ao  $\lambda^*$  aumenta pouco e o valor baixo do teste  $\chi^2$  assegura que estatisticamente, não existem mais indicadores considerados discriminantes.

Entretanto, a terceira função canônica explica 100% da variância total do modelo.

Os valores correspondentes a correlação canônica foram suficientemente elevados para mostrar o grau de relacionamento entre as funções discriminantes e o grupo de indicadores utilizados de maneira satisfatória.

Analisando os coeficientes padronizados das funções discriminantes (Tabela 7), nota-se que, na primeira função, destacam-se os indicadores fósforo remanescente, teor de areia, saturação por bases como as propriedades do solo mais relevantes na distinção dos diferentes grupos de limitação, já para a segunda função os indicadores atividade de argila e carbono orgânico; e, na terceira função canônica, a saturação por alumínio.

TABELA 5 - Correlações associadas entre os indicadores discriminantes e as funções canônicas padronizados, para a distinção dos grupos N, L, M3 e F3 do grau de limitação quanto à fertilidade do solo.

Indicadores	Função			Matriz		
	1	2	3	1	2	3
Fósforo remanescente (mg kg <sup>-1</sup> )	0,10	0,86	0,23	0,93*	-0,26	0,09
Teor de areia (dag kg <sup>-1</sup> )	0,94	-0,29	-0,04	0,42*	-0,15	0,31
Saturação por bases (dag kg <sup>-1</sup> )	-0,25	-0,52	1,19	0,29*	0,28	-0,25
Atividade de argila (cmolc <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup> )	0,00	0,11	0,54	0,23	0,68*	0,57
Carbono orgânico (dag kg <sup>-1</sup> )	0,33	0,34	0,07	-0,02	0,38*	0,04
Saturação de alumínio (dag kg <sup>-1</sup> )	0,06	-0,25	0,43	-0,30	-0,24	0,73*

A reclassificação da aptidão agrícola pelas duas principais funções canônicas mostra que há uma incoerência, principalmente quanto à identificação do grupo ligeiro (L), onde apenas 78% dos casos são corretamente identificados, sendo aproximadamente 22% dos casos associados com graus de limitação moderado (M3) ou forte (F3) (Tabela 8). Isto provavelmente ocorre porque o efeito da acidez do solo sobre a fertilidade do solo não é uniforme sobre todos os tipos de solos, o que o modelo discriminante não foi capaz de separar.

Para os solos da região, a adsorção de fósforo (teor de fósforo remanescente) e a saturação por bases como principais indicadores para a distinção dos ambientes pela primeira função canônica são coerentes com a formação geológica da região e a influência de deposições vulcânicas. A gênese dos solos explica, ainda, a importância da atividade de argila refletida na segunda função canônica,

principalmente, pela sua maior influência inclusive que o teor de carbono orgânico do solo.

Apenas o teor de areia não é coerente com a geologia local, o que pode estar sendo explicada com sua associação com outros indicadores, como atividade de argila, adsorção de fósforo e acidez do solo (saturação por bases e saturação por alumínio). Neste caso, a permanência deste indicador (teor de areia) no modelo utilizado para a distinção dos ambientes deve ser revista.

TABELA 6 - Porcentagem de acerto na predição dos grupos de limitação quanto à fertilidade do solo.

Grau de limitação quanto à fertilidade	Grupo Predito %				Total%
	N	L	M3	F3	
N	92,7	2,4	2,4	2,4	100
L	0,0	77,8	3,7	18,5	100
M3	0,0	0,0	100,0	0,0	100
F3	0,0	0,0	0,0	100	100

#### 4.3 GRAUS DE LIMITAÇÃO QUANTO A SUSCETIBILIDADE A EROSÃO

Os indicadores utilizados na determinação dos graus de limitação quanto à suscetibilidade a erosão foram relacionados ao transporte (declividade, mudança textural) e a desagregação das partículas (erodibilidade, atividade de argila). Devido à proposição do uso de equações de pedotransferência para estimar a erodibilidade do solo, todos os indicadores são de fácil mensuração, portanto, atendendo aos requisitos sugeridos por Lal (1999) para escolha de indicadores.

Destes indicadores, apenas a erodibilidade é de mais difícil mensuração, sendo os demais avaliados diretamente no terreno (declividade) ou calculados a partir de propriedades do solo de fácil quantificação. Entretanto, para a estimativa da erodibilidade adotou-se equação de pedotransferência que utiliza propriedades do solo como teor de argila, silte e areia e o teor de matéria orgânica, atendendo aos requisitos sugeridos por Lal (1999) para escolha de indicadores.

O uso da equação de pedotransferência para a determinação do fator de erodibilidade do solo a partir de variáveis de fácil obtenção (WILLIAMS et al., 1984,

apud ZHANG, 2008) também é um fator positivo, embora, faça-se a ressalva que a equação utilizada necessita ainda ser testada amplamente para as condições dos solos do Brasil e da Amazônia, em especial.

A mudança textural, avaliada pelo teor médio de argila entre camadas subseqüentes, não tem o mesmo significado da avaliação feita na classificação de solos pelo sistema brasileiro, mas, por outro lado, possibilita identificar ambiente onde esta variação possa estar ocorrendo com maior intensidade.

Foram identificados com a utilização destes indicadores três graus de limitação quanto à susceptibilidade à erosão: ligeiro (L), moderado (M) e muito forte (MF). Dos indicadores utilizados, 60% apresentaram diferenças entre as classes de limitação (declividade, teor de argila e atividade de argila) e os demais (mudança textural e erodibilidade) não foram significativos (Tabela 9). Aparentemente, a susceptibilidade à erosão estaria associada a solos com maior declividade e menor teor de argila (Tabela 10).

A declividade é utilizada como o principal critério de distinção entre os ambientes, e, portanto, já seria esperado a distinção entre os diferentes grupos. A atividade de argila e o teor de argila, por outro lado, indicam a força destas propriedades no risco à erosão nestes ambientes.

TABELA 7 - Média, desvio padrão, valor mínimo e máximo, valor do teste F de variâncias e respectiva significativa, para os indicadores utilizados na determinação do grau de limitação quanto a suscetibilidade à erosão

Indicadores	Médias	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo	F	Sig.
Erodibilidade (t.h.MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	0,3	0,1	0,1	0,4	0,8	0,44
Declividade (%)	5,1	2,8	3,0	13,0	14,1	0,00
Mudança textural adimensional	4,6	11,0	0,5	0,5	0,8	0,46
Atividade da argila (cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	58,8	31,9	11,2	100,0	8,2	0,00
Teor de Argila (g kg <sup>-1</sup> )	17,7	15,3	0,2	58,3	31,1	0,00

O fato de que diferentes classes de limitação apresentarem a mesma estimativa para a erodibilidade (Tabela 11), explica-se pela dependência deste indicador à definição prévia da influência da declividade (Nóbrega et al., 2008 b)

TABELA 8 - Valores médios de erodibilidade, declividade Mudança textural, atividade de argila e teor de argila para os diferentes graus de limitação quanto a susceptibilidade à erosão

GL	Indicadores				
	Erodibilidade	Declividade	Mudança textural	Atividade de argila	Teor de argila
	Média				
L	0,27 a	3,36 a	1,06 a	31,01 a	40,20 b
M	0,28 a	5,15 a	5,32 a	64,77 b	41,70b
MF	0,24 a	13,0 b	1,35 a	18,36 a	13,02 a

\*Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Pela análise de variância, observa que as duas primeiras funções canônicas explicam 100% da variabilidade entre as diferentes classes para os graus de limitação quanto à susceptibilidade à erosão (Tabela 11).

TABELA 9 - Seleção das funções discriminantes para a matriz de dados dos indicadores de qualidade do solo utilizados para a determinação dos Graus de limitação por suscetibilidade a erosão

Função	Autovalor	% Variação	% Var. Acumulada	Correlação Canônica	Após a função	$\lambda$	$\chi^2$	GL	Sig*
1	1,118	69,5	69,5	0,726	1 – 2	0,317	82,78	10	0,00
2	0,491	30,5	100	0,574	2	0,671	28,75	4	0,00

\* Significância a 95% de probabilidade.

Analisando os coeficientes padronizados das funções discriminantes (Tabela 12), nota-se que, na primeira função, destacam-se os indicadores teor de argila, atividade da argila, mudança textural e erodibilidade como os indicadores mais relevantes na distinção dos diferentes grupos de limitação, já para a segunda função o indicador declividade mostra-se o mais importante.

Consideradas isoladamente, os dois principais fatores na distinção dos graus de limitação foram o teor de argila (primeira função canônica) e a declividade (segunda função canônica). A erodibilidade teve pouca influência na definição dos grupos (Tabela 12), o que poderia ser explicado pela pouca representatividade da equação de pedotransferência utilizada para sua estimativa. Portanto, para o

melhoramento do sistema, pode ser importante o desenvolvimento de novos modelos para estimar a erodibilidade dos solos, de forma que as classificações possam mais precisas.

TABELA 10 - Correlações associadas entre os indicadores discriminantes e as funções canônicas padronizados, para a distinção dos grupos L, M e MF do grau de limitação quanto a suscetibilidade a erosão.

Indicadores	Função		Matriz	
	1	2	1	2
Teor de Argila (g kg <sup>-1</sup> )	1,504	-0,197	,858*	-0,187
Atividade da argila (cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	0,736	-0,382	-,446*	0,018
Mudança textural adimensional	-0,143	-0,071	-,136*	0,04
Erodibilidade (t.h.MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	-0,024	0,505	-,134*	-0,066
Declividade (%)	0,311	1,146	0,049	,878*

As duas principais funções canônicas foram capazes de prever corretamente 92% dos agrupamentos na média geral (Tabela 13), porém, 27% dos solos classificados originalmente como de grau ligeiro (L) foram erroneamente classificados pelas funções canônicas.

TABELA 11 - Porcentagem de acerto na predição dos grupos de limitação quanto à suscetibilidade a erosão

Grau de limitação quanto a suscetibilidade a erosão	Grupo Predito %			TOTAL %
	L	M	MF	
L	72,7	27,3	0,0	100
M	4,7	95,3	0,0	100
MF	0,0	0,0	100,0	100

A principal variável utilizada para discriminar os diferentes graus de limitação quanto à susceptibilidade à erosão foi a declividade, cuja condição foi refletida adequadamente pela análise discriminante no momento em que associou a segunda função canônica somente esta variável, com capacidade de explicar isoladamente 30% da variação observada, enquanto que as demais variáveis, explicaram 70% da variação restante.

#### 4.4 GRAUS DE LIMITAÇÃO POR DEFICIÊNCIA DE ÁGUA

O grau de limitação quanto à deficiência de água foi definido principalmente em função da quantidade de água disponível (AD) (PEREIRA; LOMBARDI NETO, 2004, com modificações pela inclusão da densidade do solo no cálculo da água disponível), precipitação média anual (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995) e da atividade de argila.

A duração do período seco ou ocorrências de veranicos não foram consideradas. Por outro lado, ao se adotar a água disponível e a atividade de argila como indicadores, espera-se que os processos representados por estes indicadores tenham relevância quanto à identificar diferenças na capacidade do solo em disponibilizar água para as culturas.

No modelo proposto, a salinidade não foi considerada como fator de determinação da deficiência de água, visto que poderia estar co-relacionado à baixa disponibilidade de água ou a solos com argilas de alta atividade, situações já consideradas no modelo.

Deste modo, a partir da aplicação dos critérios adotados na regra de decisão, obteve-se como resultado para os solos estudados quatro Graus de Limitação quanto à deficiência de água: nulo (N), ligeiro (L), moderado (M1) e forte (F1). Sendo utilizados para a distinção destes graus os indicadores atividade de argila, e a água disponível (Tabela 14).

TABELA 12 – Média, desvio padrão, valor mínimo e máximo, valor do teste F de variâncias e respectiva significativa, para os indicadores utilizados na determinação do grau de limitação quanto deficiência de água.

Indicadores	Médias	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo	F	Sig.
Atividade de Argila (cmolc <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	58,33	31,85	11,22	99,99	1,35	0,26
Água Disponível (mm)	75,92	23,26	34,17	99,99	2,85	0,04

Contudo, pôde-se inferir da análise estatística, que embora o teste F indique haver diferença entre as classes de limitação para deficiência de água, os dois indicadores empregados na regra de decisão, atividade de argila e água disponível não diferiram entre as glebas com diferentes graus de limitação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 15).

TABELA 13 - Valores médios da atividade de argila e água para os diferentes graus de limitação quanto à deficiência de água

GL	Indicadores	
	Atividade de Argila	Água Disponível
	Média	
N	21,47 a	63,68 a
L	48,95 a	77,21 a
M	58,01 a	79,70 a
F	61,75 a	95,62 a

\*Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

No entanto a partir da matriz de dados, tendo como variáveis os indicadores primários da regra de decisão realizou-se uma análise discriminante, objetivando determinar as funções que permitam classificar os indicadores utilizados em grupos, para os quais apresentam maior probabilidade de pertencerem, bem como verificar a precisão de classificação.

Para isso determinou-se, o valor de Lambda de Wilk's ( $\lambda^*$ ), F e a significância obtida pra cada indicador, os quais permitem interpretar a real capacidade de discriminação das mesmas na formação dos grupos. Após a definição das variáveis discriminantes (Tabela 16). Procedeu-se a determinação das funções discriminantes importantes na análise das contribuições desses indicadores. Dessa forma, para representar 100% da variância total explicada a partir desses indicadores, foram necessárias 2 funções canônicas discriminantes.

TABELA 14 - Seleção das funções discriminantes para a matriz de dados dos indicadores de qualidade do solo utilizados para a determinação dos graus de limitação por deficiência de água.

Função	Auto valor	% Variação	% Var. Acumulada	Correlação Canônica	Após a função	$\lambda$	$\chi^2$	F	Sig*
1	0,14	75,5	75,5	0,35	1 - 2	0,83	12,9	6	0,04
2	0,045	24,5	100	0,20	2	0,95	3,29	2	0,19

\* Significância a 95% de probabilidade.

Pela observação dos autovalores (Tabela 17), nota-se que a primeira função discriminante explica 76% da variância, sendo, portanto a mais representativa, e a segunda função representa 24% da variância total explicada. Todavia pode-se observar também, pelos baixos valores dos coeficientes de correlação canônica, o

baixo grau de relacionamento entre todas as funções discriminantes e os grupos de indicadores avaliados.

TABELA 15 - Número de casos e porcentagem de classificação dos indicadores nos 4 graus de limitação.

GL_ÁGUA	Grupo Predito %				TOTAL (%)
	N	L	F1	M1	
N	37,5	25	27,1	10,4	100
L	0	100	0	0	100
F1	15,8	0	68,4	15,8	100
M1	33,3	11,1	22,2	33,4	100

Os percentuais de classificação corretas e incorretas dos indicadores entre os quatro graus de limitação para deficiência de água mostra que apenas no grupo Ligeiro (L) todos os indicadores foram classificados corretamente, o que pode estar associado ao baixo número de casos para esse grupo (Tabela 18). Os demais grupos (N,F1 e M1) não foram classificados corretamente, obtendo-se assim, um valor de apenas 46,2% de indicadores utilizados classificados corretamente, indicando que as duas principais funções canônicas discriminantes, não foram adequadas para a classificação correta do grau de limitação para deficiência de água.

Por outro lado, quando a análise multivariada discriminante é feita com os indicadores principais, e não com suas os calculados pelas equações de pedotransferência, foram necessárias as três principais funções canônicas para explicar 100% da variância total, sendo que a primeira função canônica explicou 77% de toda a variância observada (tabela 19).

TABELA 16 - Seleção das funções discriminantes para a matriz de dados dos indicadores primários de qualidade do solo utilizados para a determinação dos Graus de limitação por deficiência de água.

Função	Autovalor	% Variação	% var. acumulada	Correlação Canônica	Após a função	$\lambda^*$	$\chi^2$	GL	Signf*
1	2,461	77,3	77,3	0,843	1 - 2	0,159	115,694	72	0,001
2	0,563	17,7	95	0,6	2 - 3	0,552	37,467	46	0,811
3	0,16	5	100	0,371	3	0,862	9,342	22	0,99

Analisando os coeficientes padronizados das funções discriminantes (Tabela 19), nota-se que, na primeira função, destacam-se os indicadores teor de areia; carbono orgânico na camada intermediária; acidez potencial e magnésio trocável

como os indicadores mais relevantes na distinção dos diferentes grupos de limitação quanto a deficiência de água, e já para a segunda função, os indicadores atividade de argila, densidade do solo, teor de argila e na camada intermediária: carbono orgânico, cálcio trocável, magnésio trocável e potássio disponível foram os mais relevantes. Na terceira função canônica, foram relevantes os indicadores carbono orgânico, densidade do solo, potássio disponível (camada inferior) e magnésio trocável (camada intermediária).

TABELA 17 - Correlações associadas entre os indicadores discriminantes e as funções canônicas padronizados, para a distinção dos grupos ligeiro(L), moderado (M) e muito forte (MF) do grau de limitação quanto a deficiência de água

Indicadores	Função			Matriz		
	1	2	3	1	2	3
Teor de Areia (dag kg <sup>-1</sup> )	-0,163	0,426	-0,759	,311*	-0,045	0,072
Carbono orgânico	0,056	-0,16	-0,51	-,264*	-0,254	-0,147
Teor de areia (dag kg <sup>-1</sup> )	-0,368	-0,24	0,46	,244*	-0,126	0,022
Al+H cmol(+)/Kg	0,503	0,83	-0,81	-,240*	0,087	-0,099
Teor de Areia -(dag kg <sup>-1</sup> )	0,724	0,68	-0,06	,224*	-0,083	0,042
Magnésio trocável cmol(+)/Kg	-0,244	0,86	-0,05	-,085*	0,063	-0,043
Al+H cmol(+)/Kg	0,174	0,36	-0,37	-,083*	-0,034	-0,034
Carbono orgânico dag/Kg	0,375	-0,06	0,77	-0,341	-,401*	-0,005
Densidade das partículas	0,306	-0,08	0,19	-0,057	,312*	0,171
Calcio cmol(+)/Kg	0,429	-0,55	0,00	0,102	-,265*	-0,169
Densidade das partículas	0,824	0,45	0,93	-0,201	,262*	-0,181
Teor de argila - (g kg <sup>-1</sup> )	-0,004	-0,39	0,12	0,004	,245*	0,195
Teor de argila -(g kg <sup>-1</sup> )	0,169	-0,04	-0,75	0,053	,238*	0,182
Teor de argila -(g kg <sup>-1</sup> )	0,494	0,91	0,19	-0,072	,205*	0,199
Cálcio cmol(+)/Kg	0,51	-0,12	0,43	0,075	-,157*	-0,111
Magnésio cmol(+)/Kg	-0,669	-0,90	0,74	0,093	-,135*	-0,123
Potássio cmol(+)/Kg	-0,288	-0,15	-0,44	0,036	-,060*	-0,037
Carbono orgânico dag/Kg	0,566	-0,30	-0,05	-0,297	-0,229	-,298*
Densidade das partículas dag/Kg	-0,573	0,29	-0,02	-0,076	0,104	,263*
Potássio cmol(+)/Kg	-0,477	-0,81	1,16	-0,029	0,246	-,246*
Magnésio cmol(+)/Kg	-0,499	0,442	-0,096	0,023	0,184	-,228*
Cálcio trocável cmol(+)/Kg	-0,609	0,118	0,641	0,055	-0,041	-,127*
Acidez potencial cmol(+)/Kg	-0,166	1,131	0,296	-0,095	0,03	-,101*
Potássio disponível cmol(+)/Kg	-0,404	0,034	-0,56	0,073	0,00	-,079*

No geral, houve 84,6% de classificações corretas (Tabela 20), indicando a precisão da técnica de agrupamento dos indicadores primários. Desta forma, pode-

se considerar que as três funções podem ser empregadas para classificar os graus de limitação da aptidão agrícola.

Tabela 18 - Número de casos e porcentagem de classificação dos indicadores nos 4 graus de limitação

GL_ÁGUA %	Grupo Predito				TOTAL
	1	2	3	4	
N	92,7	0	7,3	0	100
L	3,7	81,5	7,4	7,4	100
F1	14,3	28,6	42,9	14,2	100
M1	0	0	0	100	100

Apesar disso, a baixa capacidade dos indicadores água disponível precipitação média anual e atividade de argila em não explicarem as diferenças no grau de limitação das terras quanto a deficiência de água justifica-se pelo fato de que, individualmente, nenhum destes indicadores parece ter sido determinante da classificação, principalmente com base no fato de que a precipitação foi considerada uniforme na região de estudo. Portanto, embora os indicadores utilizados para a estimativa dos valores limites tenham se mostrado melhor na distinção dos ambientes, maior esforço deve ser dedicado ao aprimoramento das regras de decisão visando uma distinção mais segura dos ambientes quanto a esta limitação.

## 5 CONCLUSÕES

Baseado nos métodos e técnicas utilizados no presente estudo e levando-se em conta os resultados obtidos nas análises, pode-se concluir que:

- I. As regras de interpretação propostas para a avaliação dos graus de limitação quanto à deficiência de fertilidade, deficiência de água e suscetibilidade à erosão foram objetivas, permitindo a parametrização;
- II. Todos os indicadores utilizados foram simples e de fácil mensuração (baseados em análises de rotina), aplicáveis em diferentes escalas (bastando que sejam em condições homogêneas), extrapoláveis (independentes das condições pedológicas ou climáticas), versáteis (parte dos indicadores podem ser utilizados para avaliar outras características quanto à aptidão agrícola) e relevantes às condições ecológicas (descrevem os principais processos de disponibilidade de nutrientes ou de toxicidade);
- III. A relevância dos indicadores para descrever adequadamente a capacidade de uso das terras carecem ainda ser melhor avaliados;
- IV. A adoção de equações de pedotransferência possibilitou o uso de propriedades do solo de fácil mensuração com baixos dispêndios e maior rapidez na obtenção dos dados;
- V. Na determinação dos graus de limitação quanto à deficiência de fertilidade o resultado para o indicador teor de areia não foi coerente com a geologia local, o que pode estar sendo explicada com sua associação com outros indicadores, como atividade de argila, adsorção de fósforo e acidez do solo (saturação por bases e saturação de alumínio). Sendo portanto necessário a revisão deste indicador.
- VI. As regras de decisão propostas para a determinação dos graus de limitação quanto à deficiência de água permitiu a correção algumas distorções presentes na proposta de Pereira e Lombardi Neto (2004), como a possibilidade de grau de limitação forte e muito forte em regiões com

precipitação acima de 1600 mm anuais, devido exclusivamente a variável água disponível (AD).

- VII. Contudo, ainda que os indicadores utilizados para a estimativa dos graus de limitação tenham se mostrado coerentes na distinção dos ambientes, maior esforço deve ser dedicado ao aprimoramento das regras de decisão visando uma distinção mais segura das glebas quanto a cada fator de limitação.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 25, p. 27-32, 2000.

ALVES, H. M. R.; ALVARENGA, M. I. N.; LACERDA, M. P. C.; VIEIRA, T. G. C. Avaliação de terras e sua importância para o planejamento racional do uso. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 24, n. 220, p. 82-93, 2003.

ARAUJO, A. G. ; LOPES ASSAD, M.L. . Aptidão edafoclimática das terras de Goiás e do Distrito Federal para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), Viçosa (MG), v. 25, n. 1, p. 103-111, 2001

ARRUDA, F. B.; ZULLO JR, J.; OLIVEIRA, J. B.; Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, p. 11-15, 1987.

BLOISE, G. L. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; REATTO A.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E. S. & CARVALHO, A. P. F. (2001). Avaliação da Suscetibilidade Natural à Erosão dos Solos da Bacia do Olaria - DF. Planaltina: Embrapa Cerrados. **CD ROM**. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 14).

CALDERANO FILHO, B. **Visão sistêmica como subsídios para o planejamento ambiental da microbacia do Córrego Fonseca**. 2003. 240 p. Tese ( Mestrado em Geografia) - Departamento de pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

CAMARGO, M. N.; KLAMT, E. ; KAUFFMAN, J. H. Classificação de solos usado em levantamentos pedológicos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 12, n. 1, p. 11-33, 1987.

CAMPOS M.C C; MARQUES JÚNIOR J.; PEREIRA G. T.; MONTANARI, R. SIQUEIRA, D. S. Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP, **Rev. Ciência. Agro**. v. 38, n. 2, p.149-157, 2007.

CAMPOS, E. M. G. **Valoração econômica da erosão do solo: metodologia e estudo de caso para o município de Lagoa Dourada / MG**. Tese ( Doutorado), UFRJ, 2000.

CAVALIERI, A. **Avaliação da aptidão agrícola das terras e estudo da degradação do solo da quadrícula de Mojm Mirim para fins de planejamento agro-ambiental**. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Agrícola UNICAMP, Campinas, SP, 1998.112 p.

CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica de análise da redistribuição do “fallout” do <sup>137</sup>Cs**. Tese (Doutorado) Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. USP, 2003. 79 p. il.

CHAGAS, C da S.;CARVALHO JUNIOR, W.; PEREIRA, N. R. ;FERNANDES FILHO, E. I. Aplicação de um sistema automatizado (ALES - Automated Land Evaluation System) na avaliação das terras das microrregiões de Chapecó e Xanxerê, Oeste Catarinense, para o cultivo de grãos. **Rev. Bras. Ciência. Solo**, Junho, 2006, v.30, n.3, p.509-522, 2006.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ, USP, Piracicaba, SP. 1990. 113p.

DORAN, J.W; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p. 3 - 22. (Publication Number, 35)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de Métodos de análise de solo**. 2 Ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.- Centro nacional de Pesquisa de solos.**Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FAO, 1976. A framework for land evaluation. FAO Soils Bulletin 32.

FAO - Food and agriculture organization of the united nations. Water and sustainable agricultural development. Rome: **FAO**, 1990.48p.

FERNANDES FILHO, E. I. **Desenvolvimento de um sistema especialista para determinação da aptidão agrícola das terras de duas bacias hidrográficas**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 1996. 71 p.

FIDASKI. J.; TORMENA, C. A. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo a penetração em sistemas de manejo com

plantas de cobertura permanente em citrus. **Ciência Rural**, Santa Maria. v. 37, n. 5. p 1316-1322, set-out, 2007.

FUJIHARA, A. K., **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. 2002. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

FLORES, C. A. **O uso da terra e a necessidade de mudanças**. 2008. Artigo em Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2008\\_3/usoterra/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2008_3/usoterra/index.htm)>. Acesso em: 13/2/2009 .

GAMA, J. R. N. F.; KIEHL, J. C . Influência do alumínio de um podzólico vermelho-amarelo do Acre sobre o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 475-482, 1999.

GAMA, J. R. N. F.; KUSUBA, T.; AMANO, Y. Influência de material vulcânico em alguns solos do Estado do Acre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16; p. 103-106, 1992.

GARCIA, G. J.; ESPINDOLA, C. R. SIAT - Sistema de Avaliação de Terras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.223-8, 2001.

GIBOSHI, M. L.; RODRIGUES, L. H. A.; LOMBARDI NETO, F. Sistema de suporte a decisão para a recomendação de uso e manejo da terra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.10, n.4, p. 861-66, 2006.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A. P. e IMHOFF, S., 2002, “Relações entre propriedades físicas e características de solo da região sul do Brasil”. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, pp. 885-893.

GLERIANI, J. M. ; BARROS, M. A. G. M. ; PEREIRA, J. L. G. ; CÂMARA, G. . Planejamento e Realidade: Aptidão Agrícola Versus Uso da Terra no Estado de São Paulo. In: **X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2001, Foz do Iguaçu, 2001.

KAY, B.D.; VANDENBYGAART, A.J. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. **Soil Till. Res.**, 66:107-118, 2002.

LAL, R. **Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos**; tradução e adaptação de Cláudia Conti Medugno e José Flávio Dynia.

Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97p. (Embrapa Meio Ambiente – Documentos, 03).

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. et al. **Soil erosion research methods**. Washington: Soil and Water Conservation Society,. p. 141-160. 1988

LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI, J.R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Bras. de Ciência do Solo, 1991. 175p.

LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H. **Apresentação dos resultados das análises de solos**. In: Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5a Aproximação. Viçosa, MG, 1999. p. 21-24.

MELLO, N. A. **Efeito do sistema de manejo nos atributos do solo, movimentação de sedimentos e exportação de carbono orgânico numa microbacia rural sob cultura do fumo**. 2006. 248p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.. **Indicadores da qualidade do solo. Informe Agropecuário** (Belo Horizonte), v. 29, p. 17-29, 2008.

NEUBERT, E.O. **Levantamento de solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da microbacia do Rio Armazém** (Urussanga, SC).Dissertação de mestrado. Universidade Federal do rio Grande do Sul –Porto Alegre, RS 1995.

NÓBREGA, M. S.; WADT, P. G. S. ; ANJOS, L. H. C. Grau de Limitação da Fertilidade do Solo no Sistema de Aptidão Agrícola das Terras em Nível de Propriedade Rural.. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água., 2008, Rio de Janeiro. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. v. Único

NÓBREGA, M. S.; WADT, P. G. S. ; ANJOS, L. H. C. Grau de limitação quanto a susceptibilidade a erosão no Sistema de aptidão agrícola das terras ao nível de propriedade rural.. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2008, Rio de Janeiro. XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**., 2008. v. único

NOORGAD, R. B. **A base epistemológica da agroecológica. In: As bases científicas da agricultura alternativa**. Rio de Janeiro: PTA/FASE, 1989. 240p.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. Jaboticabal: Funep, 2001. 414p

OTTONI, M. V. **Classificação Físico-Hídrica de Solos e Determinação da Capacidade de Campo in situ a partir de Testes de Infiltração**. Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro 2005 XV, 141 p. 2005.

PEREIRA, L.C.; LOMBARDI NETO, F. **Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. (Embrapa meio Ambiente. Documentos, 43).

POELKING, E. L. **Aptidão, evolução e conflitos de uso das terras no município de Itaara, RS**. 61 f.. Dissertação (Mestre em ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, centro de Ciências Rurais. Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, RS, 2007.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. Viçosa: UFLA, 5 ed. Revisada. 2007.

SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; KLAMT, E. **Classificação da aptidão agrícola das terras: Um sistema alternativo**. Guaíba: Agrolivros, 2007. 72p.

SILVA, A.P.da.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. **Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e der resistência do solo à penetração**. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1-10, 2008.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M.; FERREIRA, D. F. **Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de latossolos brasileiros**. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1207-1220, Jun. 2000.

TORRES, J. L. R. ; BARRETO, A. C. ; PAULA, J. C. **Capacidade de uso das terras como subsídio para o planejamento da microbacia do córrego Lanoso, em Uberaba-MG**. **Caminhos da Geografia (UFU. Online)**, v. 8, p. 22-32, 2007.

TOMASELLA, J.; HOODNETT, M. G.; ROSSATO, L. **Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils**. **Soil Science Society America Journal**, Madison, WI, v. 64, p. 327-338, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Salinidade da água de irrigação sobre a germinação e o crescimento da pinheira**. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/ABRH, 1993. cap.1, p.25-33; cap.22, p.849-75.

VEDOVELLO, R. **Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico: aplicação em expansão urbana.** 1993. 90 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1993.

WADT, P. G. S.; NÓBREGA, M. S. ; ANJOS, L. H. C. . Grau de Limitação Quanto aos Impedimentos à Mecanização no Sistema de Aptidão Agrícola das Terras em Nível de Propriedade Rural.. **In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2008, Rio de Janeiro.** XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. Viçosa : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. v. Único.

WADT, P. G. S.; NÓBREGA, M. S. ; ANJOS, L. H.C. Grau de Limitação para deficiência de água no sistema de aptidão agrícola das terras em nível de propriedade rural. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2008, Rio de Janeiro. XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. Viçosa : **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2008. v. Único

WADT, P. G. S. (Org.). **Manejo do Solo e Recomendação de Adubação para o Estado do Acre.** 1. ed. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. v. 1. 635 p

WEILL, M. A. M. Metodologias de avaliação de terras para fins agrícolas. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 52, n.4, p.127-160, out/dez. 1990.

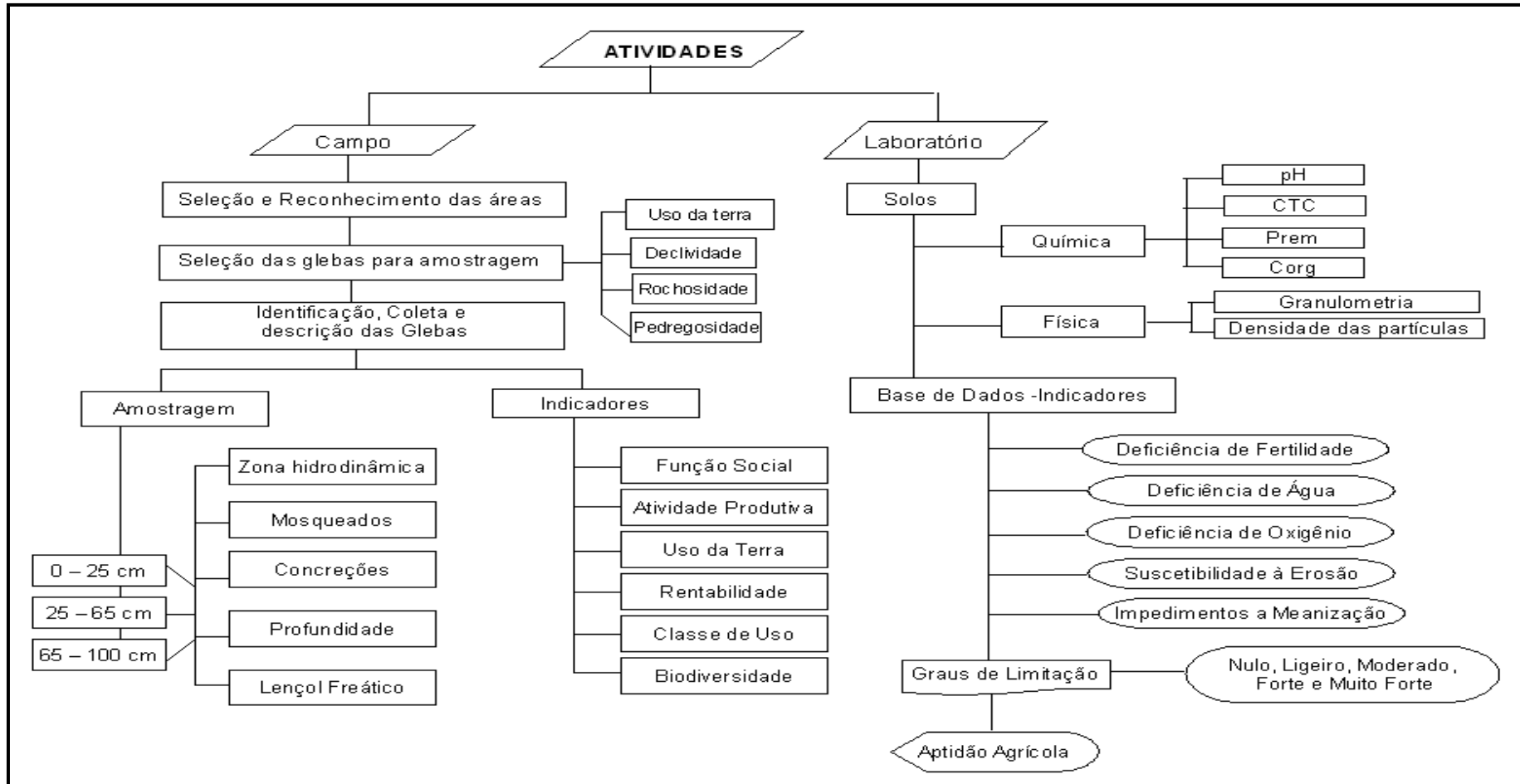
WISCHMEIER W. H.; MANNERING J. V.: Relation of Soil Properties to its Erodibility Soil Sci Soc Am J 33:131-137. Soil Science Society of America. 677.s.Segoe, RD, Madison, WI53711.USA,1969.

WISCHMEIER, W.H.; MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society of America. Proceedings**, Madison, v.33, n.1, p.131-137, Jan./Feb. 1969.

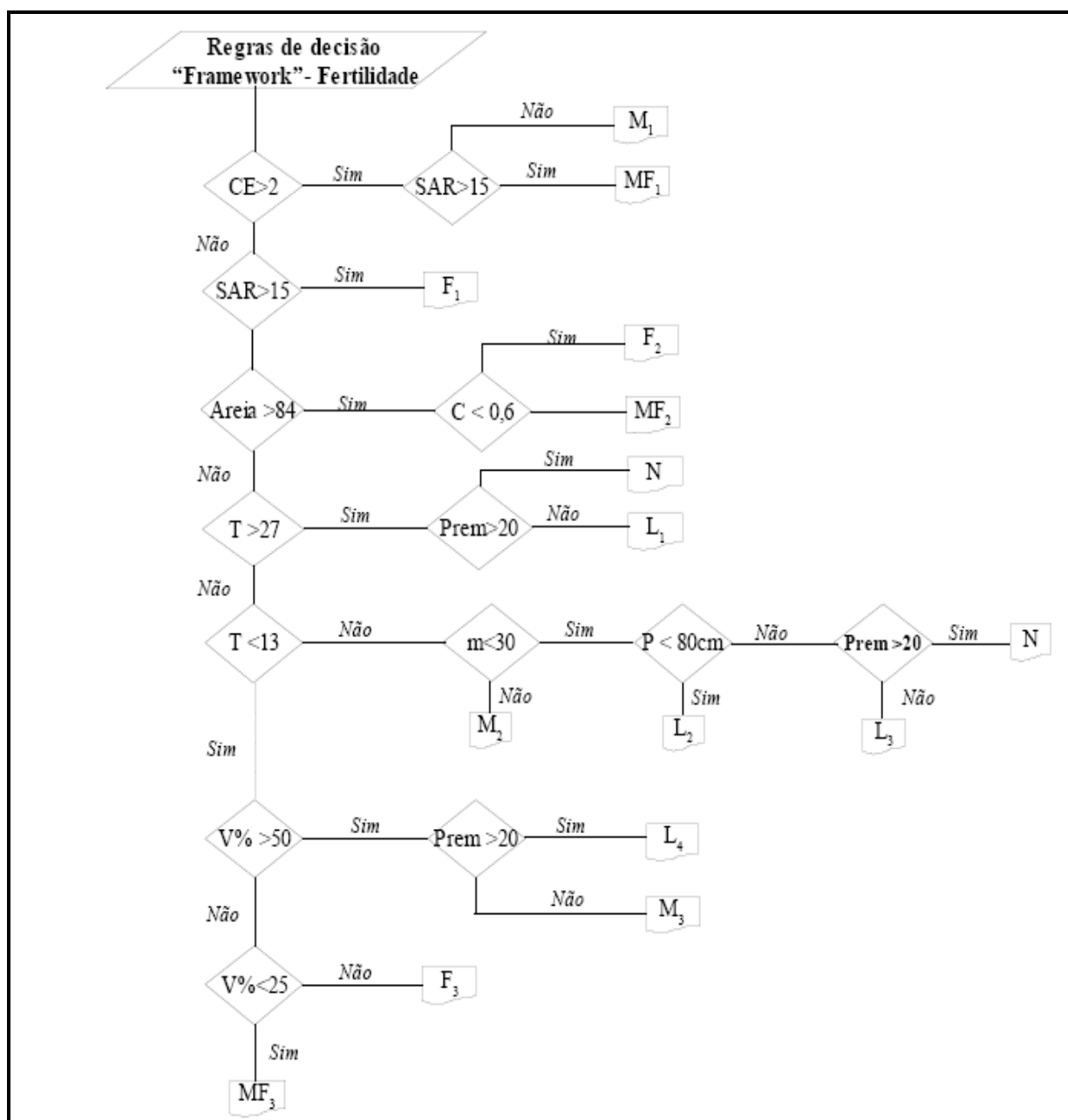
Zhang, K.L.et al. Soil erodibility and its estimation for agricultural soils in China. **Journal of Arid Environments** doi:10.1016,v.2007.11.018,2008.

## APÊNDICES

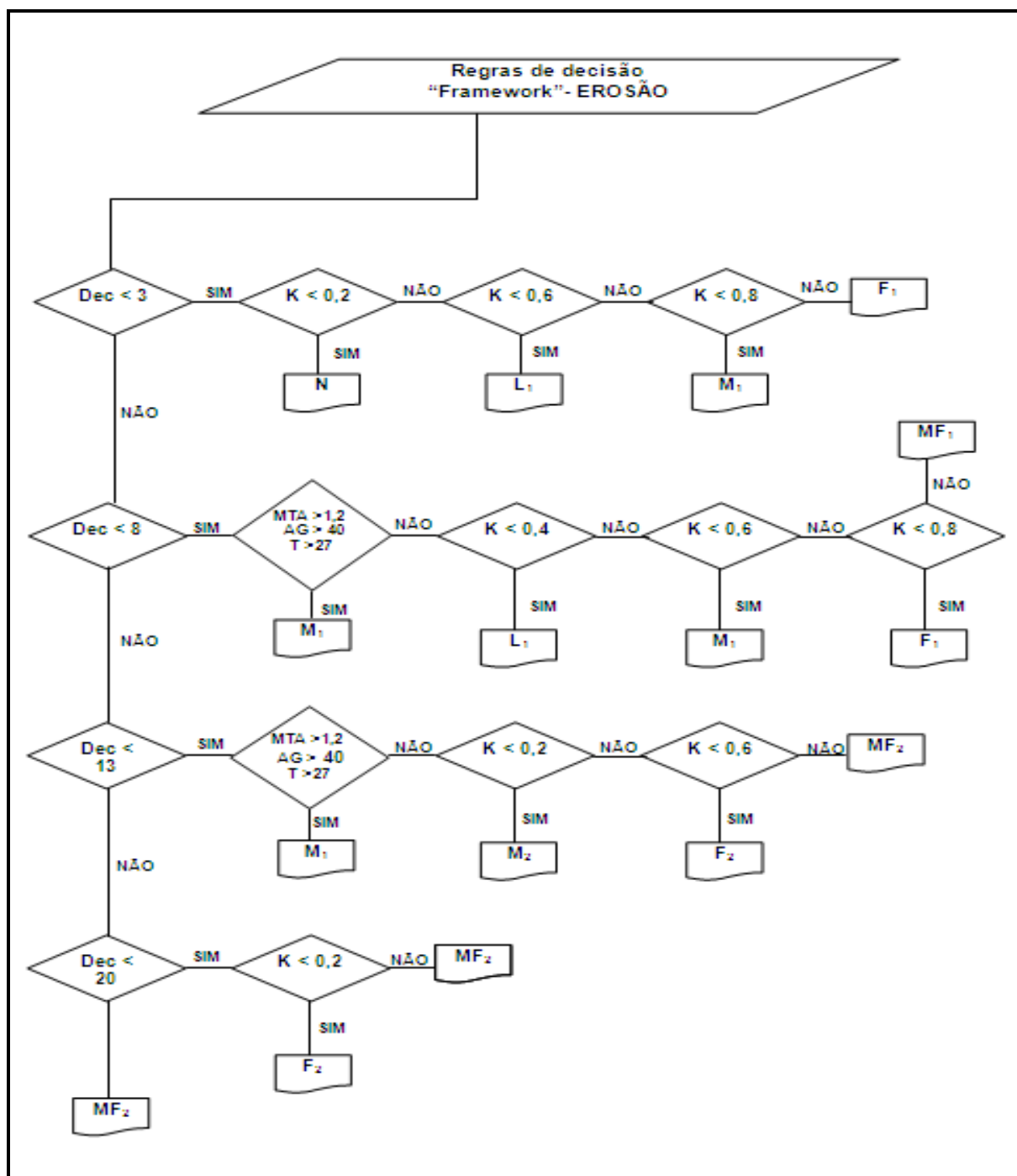
APÊNDICE A - Organograma das atividades realizadas em campo e laboratório.



APÊNDICE B - Regra de decisão para definição do grau de limitação da fertilidade do solo (N = nulo, L = ligeiro, M = moderado, F = forte e MF = muito forte), em função das variáveis: condutividade elétrica (CE), razão de adsorção de sódio (SAR), atividade da argila (T), saturação de bases (V%), teor de fósforo remanescente (P rem), teor de carbono (C), teor de areia (Areia), saturação de alumínio (m%) e profundidade do solo(P).



APÊNDICE C - Fluxograma para definição do grau de limitação quanto à suscetibilidade do solo à erosão (N = nulo, L = ligeiro, M = moderado, F = forte e MF = muito forte), em função das variáveis: Declividade (Dec), erodibilidade (K), mudança textural (MT), atividade da argila (T) e teor de argila (Arg).



APÊNDICE D - Fluxograma para definição do grau de limitação quanto à deficiência de água (N = nulo, L = ligeiro, M = moderado, F = forte e MF = muito forte), em função das variáveis: Várzea, Água disponível (AD), Precipitação (Prec) e Atividade de Argila (T).

