



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

**A APLICAÇÃO DOS ÍNDICES DE REPRESENTAÇÃO DO RELEVO COMO
FERRAMENTA DE SUPORTE NO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DE UNIDADES
DE CONSERVAÇÃO – ESTUDO DE CASO FLORESTA NACIONAL DE IRATI**

**THE APPLICATION OF INDICES OF RELIEF REPRESENTATION AS A TOOL IN
SUPPORT OF PLANNING ENVIRONMENTAL CONSERVATION AREAS - A CASE
STUDY OF THE IRATI NATIONAL FOREST**

(Recebido em 12.06.13; Aceito em: 06.12.13)

Ronaldo Ferreira Maganhotto

Doutorando em Geografia

Universidade Federal do Paraná

Curitiba, PR, Brasil

e-mail: ronaldomaganhotto@yahoo.com.br

Leonardo José Cordeiro Santos

Prof. Dr. do Departamento de Geografia

Universidade Federal do Paraná

Curitiba, PR, Brasil

e-mail: santos@ufpr.br

Luiz Claudio de Paula Souza

Prof. Dr. do Depto. de Solos e Engenharia Agrícola

Universidade Federal do Paraná

Curitiba, PR, Brasil

e-mail: lcsouza@ufpr.br

Marco Antonio Miara

Doutor em Geografia

Orbiplan - Consultoria Ambiental e Planejamento Turístico

Ponta Grossa, PR, Brasil

e-mail: marmiara@yahoo.com.br

Pedro Henrique Sanches Lemes

Mestre em Geografia

Prudentópolis, PR, Brasil

e-mail: peagaesse@hotmail.com

RESUMO

A problemática ambiental, resultante da utilização indiscriminada dos recursos e do lançamento inadequado de diferentes tipos de resíduos no ambiente, demonstrou a necessidade de ações conservacionistas, como a criação de áreas protegidas. No entanto, faz-se necessário um planejamento efetivo para assegurar o propósito destas áreas, elencando em suas análises variáveis biofísicas que favoreçam o entendimento de sua dinâmica natural. Neste contexto, a presente pesquisa tem como objetivo identificar a aplicação dos Índices de Representação do Relevo neste processo. Os atributos processados reportam-se a informações relacionadas a geomorfologia, as características das vertentes e parâmetros pedológicos. Assim, constatou-se por meio do processamento da Altitude em Relação ao Canal de Drenagem (*Altitude Above Channel Network*), do Potencial de Erosão e Sedimentação (*Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness*), da Declividade (*Slope*), da Relação do Comprimento de Rampa e Declividade (LS – Factor) e do Índice de Umidade (*Wetness Index*) a possibilidade de se obter dados relacionados a vulnerabilidade ambiental e à pedologia, contribuindo tanto no processo de zoneamento da unidade quanto no refinamento de informações pedológicas e na classificação dos solos. Esta pesquisa realizou-se na Floresta Nacional, FLONA, de Irati, unidade de conservação de uso sustentável, a qual se encontra desprovida de Plano de Manejo. Desta feita, estas informações mostraram-se relevantes às tomadas de decisão relacionadas ao seu planejamento e manejo.

Palavras Chaves: Planejamento Ambiental; Unidade de Conservação; Índices de Representação do Relevo.

ABSTRACT

Environmental problems, resulting from the indiscriminate use of resources and the inappropriate disposal of different types of waste in the environment, have demonstrated the need for conservation actions, such as the creation of protected areas. However, it is necessary to ensure effective planning for these areas; listing biophysical analyses of their variables in order to promote the understanding of their natural dynamics. In this context, this research aims to examine the implementation of indices of relief representation in this process. The processed attributes provided information related to geomorphology, characteristics of slopes, and soil parameters. Using the following techniques: *Altitude Above Channel Network*; *Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness*; *Slope*; the ratio of ramp and slope length (LS - Factor); and *Wetness Index*, made it possible to obtain data related to environmental vulnerability and pedology; contributing both to the zoning process as well as the refinement of information on soil and soil classification. This research was carried out in the FLONA national forest, Irati, an area of sustainable conservation, which has no management planning. Thus, these data are relevant in relation to decision-making connected to the planning and management of this area.

Keywords: Environmental planning; conservation unit; indices of relief representation.

1 INTRODUÇÃO

As discussões em torno da temática ambiental, intensificaram-se, refletindo no surgimento de propostas de caráter conservacionista como a criação de áreas protegidas destinadas à preservação e conservação de recursos naturais, de espécies da biota, de paisagens e de populações tradicionais.

No Brasil, estas áreas seguem regulamentadas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação, SNUC, lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Além de legitimar, homogeneiza as designações e questões jurídicas das unidades, contribuindo com a gestão de seus recursos.

Apesar da regulamentação as unidades brasileiras apresentam diversos problemas, sendo comum a inexistência ou desatualização dos planos de manejo, complicações no processo de regularização fundiária e carência de recursos humanos e financeiros (MILANO, 1997).

Realidade que reforça a necessidade de um planejamento ambiental embasado no levantamento e análise de variáveis socioambientais. As abordagens geográficas juntamente com as metodologias destinadas a interpretação e análise ambiental, configuram-se como alternativas para o enriquecimento de avaliações espaciais voltadas ao planejamento e manejo de áreas destinadas a proteção integral e ao uso sustentável.

Autores como Santos (2004) têm enfatizado a necessidade de desenvolver estratégias metodológicas quantitativas que facilitem a compreensão do meio de uma forma objetiva e mensurável.

Para Guerra e Cunha (1994) as abordagens sobre aspectos geológicos, formas de relevo, processos geomorfológicos e características hidrológicas tornam-se fundamentais, quando se trata de um estudo de caráter ambiental.

Desta feita a quantificação morfológica da superfície terrestre é essencial ao conhecimento dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na paisagem (IPPOLITI, 2005).

Os atributos topográficos podem ser obtidos a partir de técnicas relativamente simples, como o processamento e análise de Modelos Numéricos do Terreno, MNT's, seu processamento possibilita, indiretamente, a obtenção de informações

relacionadas aos processos geomorfológicos e a variabilidade espacial destes processos e (MOORE *et al.*1991).

Os MNT's consistem em uma representação espacial da superfície a partir de pontos que descrevem a elevação tridimensional de uma grade de dados a intervalos regulares ou irregulares. Seu processo de elaboração é dividido em três etapas: aquisição dos dados planialtimétricos secundários, geração da grade e derivação dos atributos do relevo (MONTGOMERY, 2003).

O estudo da conformação do terreno contribui para o entendimento da tipologia e intensidade dos processos de erosão e deposição, das propriedades pedológicas e do potencial de uso (SANTOS, 2004).

Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo identificar como os Índices de Representação do Relevo, IRR, auxiliam no processo de planejamento ambiental de unidades de conservação, UC's. O cumprimento deste apoiou-se na concretização dos objetivos específicos descritos a seguir:

- Gerar os Índices de Representação do Relevo, IRR;
- Apresentar a aplicação dos índices em pesquisas pedológicas;
- Identificar diferentes limitações de uso a partir dos IRR.

A pesquisa realizou-se na Floresta Nacional (FLONA) de Irati, unidade de conservação de uso sustentável criada em 1968, localizada na região Centro Sul do estado do Paraná, nos municípios de Fernandes Pinheiro e Teixeira Soares, a 150 km de Curitiba e 9 km de Irati, Figura 1.

A unidade situa-se em uma região de clima ameno do tipo Cfb, Subtropical Úmido Mesotérmico, com verões frescos, sem estação seca e geada severa (MAZZA, 2006).

Sua rede de drenagem conta com 81.445,59 m de rios e córregos no interior da unidade. O rio das Antas percorre toda a extensão da divisa oeste, enquanto o Imbituva adentra pela região central e se direciona sentido o limite leste. Ao norte da unidade, as várzeas de ambos se unem, formando uma extensa área alagada, configurando-se como limite e referência para a divisa da unidade. (MAZZA, 2006).

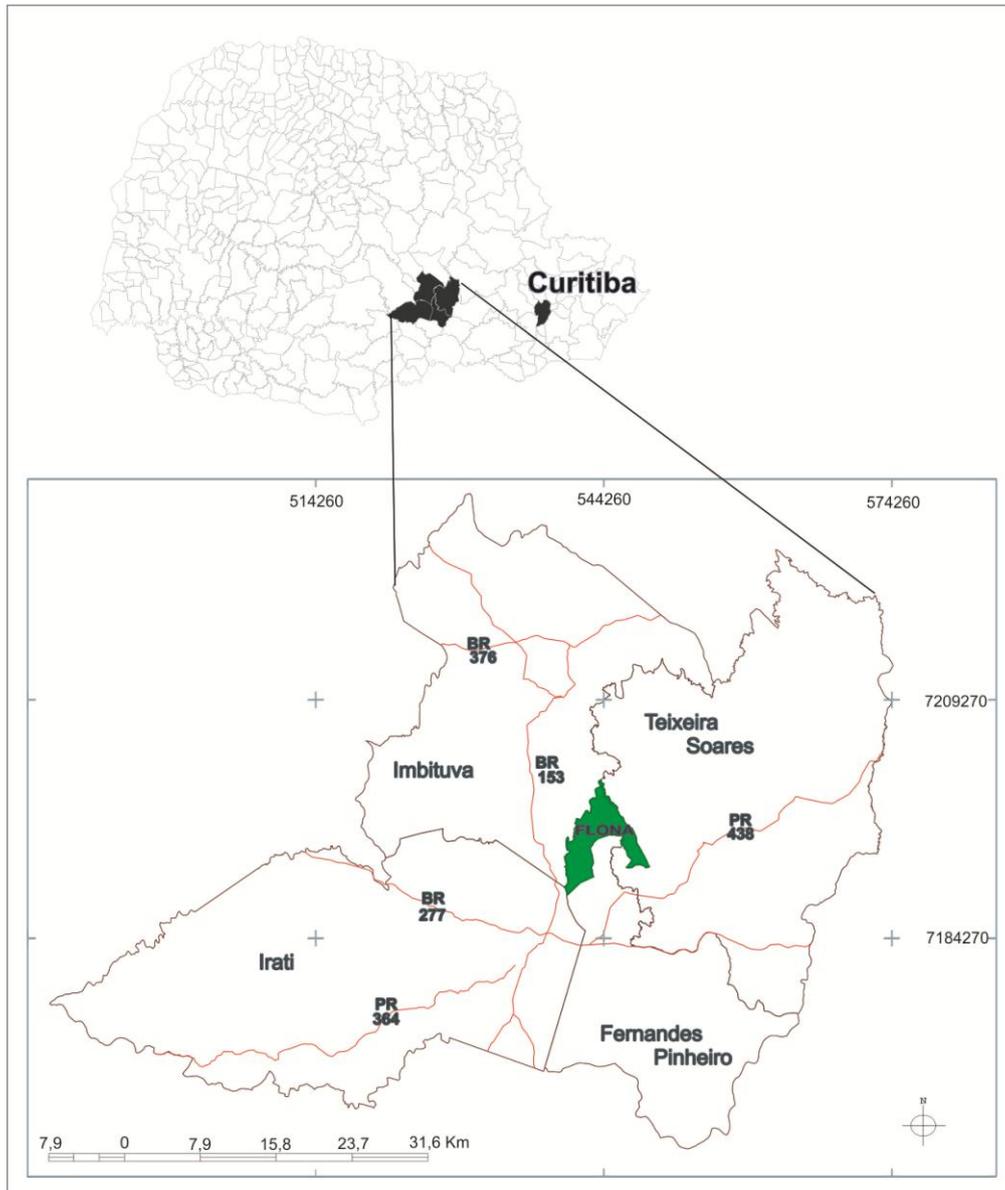


Figura 1: Localização FLONA de Irati
Fonte: Autor, 2012.

A abordagem e utilização destes índices têm apresentado destaque nos últimos anos dado a capacidade de mensuração de informações pedológicas e geomorfológicas de determinado ambiente. O processamento dos IRR resulta em dados quantitativos, complementando abordagens qualitativas e informações inerentes a biodiversidade e grau de conservação da natureza.

Como grande parte das UC's nacionais a FLONA de Irati apresenta algumas dificuldades recorrentes à necessidade de recursos e a desatualização do plano de manejo. A inexistência de informações mapeadas caracterizando as variáveis físicas da área dificultam planejamento e a gestão da unidade

Desta forma, o desenvolvimento do presente trabalho contribuiu de forma relevante para a FLONA, pois as informações compiladas com o processamento da Altitude em Relação ao Canal de Drenagem (*Altitude Above Channel Network*), do Potencial de Erosão e Sedimentação (*Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness*), da Declividade (*Slope*), da Relação do Comprimento de Rampa e Declividade (LS – Factor) e do Índice de Umidade (*Wetness Index*) são de grande valia para o planejamento da área, auxiliando tanto no refinamento de informações pedológicas quanto na classificação dos diferentes graus de limitação de uso.

A UTILIZAÇÃO DOS ÍNDICES DE REPRESENTAÇÃO DO RELEVO NO PLANEJAMENTO AMBIENTAL

A caracterização do relevo por meio do processamento dos IRR possibilita a espacialização da drenagem, de parâmetros pedológicos e dos processos geomorfológicos, configurando-se como uma alternativa auxiliar no levantamento dos solos e no grau de limitação de uso, os quais devem se fazer presentes no planejamento de UC.

A utilização dos Índices de Representação do Relevo, IRR, como instrumento de análise ambiental, ganhou destaque na década de 90. A possibilidade de uma avaliação em ambiente computacional, a partir do Modelo Numérico do Terreno, MNT, e correlação dos mesmos com a geomorfologia e seus processos, impulsionaram sua aplicação às pesquisas ambientais (IPPOLITI, 2005).

Para Valeriano (2008) a compilação do MNT, base para a geração dos IRR, configura-se como uma alternativa interessante para suprir a carência de mapeamentos em continentes como a África, Oceania e América do Sul.

Assim, o produto tridimensional da superfície obtido com o MNT e o processamento dos IRR possibilita a interpretação das relações físicas da paisagem, favorecendo a caracterização:

- Do relevo e da rede de drenagem;
- De parâmetros e processos condicionados pela variabilidade espacial, inerentes ao desenvolvimento dos solos, (BERG e OLIVEIRA, 2000).

A correlação destes índices com a geomorfologia, seus processos (erosão e sedimentação) e com alguns parâmetros pedológicos tem despertado interesse

entre os pesquisadores, repercutindo em publicações relacionadas ao levantamento pedológico e no entendimento de processos geomorfológicos.

Avaliando a problemática recorrente as UC's relacionada a caracterização das variáveis físicas, a aplicação dos IRR como suporte em estudos ambientais se mostra pertinente, pois a utilização destes atributos configura-se como uma ferramenta auxiliar a obtenção de informações relacionadas aos solos e a limitação de uso da área em questão.

A APLICAÇÃO DOS ÍNDICES EM PESQUISAS PEDOLÓGICAS

O elevado custo dos levantamentos, a extensão das áreas a serem mapeadas e a dificuldade de acesso em alguns lugares, são fatores que comprometem a obtenção de informações pedológicas nacionais (SANTOS, 2003).

Uma alternativa para contornar tal realidade é a aplicação dos IRR, estes assumem grande importância para o mapeamento em escalas detalhadas e semi-detalhadas devido o custo-benefício e sua relação com solos (COELHO, 2010).

As características do relevo estão diretamente relacionadas com os processos de formação do solo, logo, o processamento dos IRR configura-se como uma possibilidade a ser utilizada ao levantamento de parâmetros e características pedológicas (KLINGEBIEL *et al.* 1987).

Prates (2010) utilizou estes atributos como suporte na delimitação dos diferentes compartimentos da paisagem e comprovou sua eficiência no apoio do mapeamento de solos ao nível de subordem do Sistema Brasileiro de Classificação de Solo, a área de estudo escolhida para realização desta pesquisa foi a Fazenda Canguiri, área experimental da Universidade Federal do Paraná, localizada no município de Pinhais, região metropolitana de Curitiba.

Bock e Klothe (2008) utilizaram estes atributos para auxiliar na identificação da profundidade de solos hidromórficos influenciados pelo escoamento de águas superficiais e subterrâneas.

Os Gleissolos com grande concentração de umidade, típico de solos hidromórficos, caracterizam os fundos de vale. Sua altitude em relação ao canal e seus altos índices de TWI e MRVBF caracterizam áreas com grande concentração de umidade e predominância de processos deposicionais (Moore *et al.*, 1991; McKenzie *et al.*, 2007).

Sirtoli (2008) buscou a classificação dos solos da Bacia do Rio Canguiri, região metropolitana de Curitiba, utilizando-se dos IRR (declividade, plano e perfil de curvatura, TWI, Índice de Transporte de Sedimentos e Índice de Corrente de Máximo Fluxo), das variáveis espectrais de imagens de satélites e dos mapas de geologia. Baseando-se nas Redes Neurais Artificiais como método para discriminação das classes pedológicas o autor verificou por meio dos seus resultados que a metodologia trabalhada é útil para a melhoria da qualidade dos levantamentos preliminares de solos.

Sabido da correlação existente entre a declividade e os solos Sirtoli (2008) verificou que as unidades pedológicas de caráter hidromórfico predominaram em declividades inferiores a 3%, os Latossolos em declividades inferiores a 8% e os Cambissolos se localizaram em até 20% de declividade.

Silveira (2010) utilizou a metodologia das Redes Neurais Artificiais e da Tabulação Cruzada a fim de obter classes de solos a partir de informações de atributos topográficos (hipsometria, declividade, perfil e plano de curvatura, TWI Índice de Transporte de Sedimentos e Índice de Corrente de Máximo Fluxo) na Bacia Hidrográfica do Corvo, município de Pinhais, PR. Seus resultados confirmaram a possibilidade de classificação de unidades preliminares de mapeamento de solos a partir de modelos quantitativos de interpretação do relevo.

Nowatzki (2013) empregou os IRR com intuito de verificar sua aplicabilidade no mapeamento de solos, utilizou como área de estudo a Bacia do Rio Pequeno, localizada no município de Antonina, PR. Constatou, por meio do cruzamento das informações resultantes dos índices aos mapeamentos já existentes, a eficiência do método da Tabulação Cruzada na espacialização de Unidades Geomórficas.

O uso dos IRR associados à distribuição de ocorrência das classes pedológicas, assumem grande importância pelo custo-benefício para mapeamento em escalas detalhadas e semi-detalhadas (COELHO, 2010).

A APLICAÇÃO DOS ÍNDICES À DETERMINAÇÃO DE CLASSES LIMITANTES

A partir dos IRR, resultante do MNT, é possível identificar áreas susceptíveis à erosão, à deposição, assim como porções territoriais mal drenadas sujeitas ao

acúmulo de água e a inundações. Possibilidade oportuna à utilização destes atributos à obtenção de classes com diferentes graus de limitação de uso.

Quando associados aos mapas de variabilidade, os índices podem figurar-se como ferramentas para visualização e entendimento das relações de causa e efeito da distribuição espacial. Além disso, por meio de sua interpretação, é possível estabelecer relações às influências topográficas e hidrológicas (HAMMER *et al.*, 1995).

Para Moore *et al.*, (1991), estes dados topográficos podem ser usados para estimar os processos erosivos, o assoreamento e o acúmulo de água, contribuindo para a determinação da susceptibilidade ambiental.

O AACN, o *Slope*, o MRVBF, TWI e *Ls Factor*, configuram-se como variáveis relevantes à obtenção da suscetibilidade ambiental. O processamento desses atributos possibilita a quantificação e a representação espacial de áreas com diferentes limitações ao uso. Autores como Mansor *et al.* (2002), Lin *et al.* (2006), Mckenzie e Gallant (2007) e Prates (2010) determinaram para estes índices valores correspondentes à erosão, deposição e acúmulo de água. Os quais podem ser utilizados como parâmetros auxiliares à obtenção das classes de limitação de uso.

Mansor *et al.* (2002) utilizaram como parâmetro o *Ls Factor* para avaliação do potencial de risco de erosão na área em torno do reservatório do Tatu, Limeira-SP. Os resultados demonstraram que as áreas potencialmente críticas, apresentam um *Ls Factor* entre 6 e 10 e que os valores de 4 a 6, dependendo do manejo de solo no local, podem desencadear os processos erosivos.

Evidencia-se, por meio das aplicações dos IRR, sua pertinência no desenvolvimento de pesquisas relacionadas às UC, a síntese e correlação destes atributos permitem estimativas da dinâmica espacial da paisagem, podendo auxiliar com informações quantitativas à concretização do Zoneamento Ambiental de UC's.

2 MATERIAL E MÉTODOS

COMPILAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS

A elaboração dos mapas apoiou-se na carta topográfica de 1:50.000, folha SG.22-X-C-I-4, MI: 2839/4 – Ministério do Exército impressão 1989; na imagem de

satélite SPOT com resolução de 5m, anos base 2005/2006; no uso e cobertura do solo interpretado por Mazza (2006).

De posse das curvas de nível com 10m de equidistância, obtidas com auxílio do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), gerou-se o MNT, o qual teve como interpolador, *B-Spline Approximation do Software System for Automated Geoscientific Analyses* (SAGA, 2005). Vale a pena ressaltar que optou-se pelas curvas do SRTM pela possibilidade de uma equidistância menor que a da carta topográfica. Em seguida, esses dados foram exportados para o *Idrisi Andes*, e com o apoio da função *Surface* obteve-se a Carta de Declive, seguindo a classificação sugerida por Lepch (1991).

A Carta de Solos teve como base o levantamento pedológico sistematizado pela EMBRAPA na escala de 1:600.000.

CARACTERIZAÇÃO DOS ÍNDICES DE REPRESENTAÇÃO DO RELEVO

De posse do MNT, foram gerados os seguintes índices: *Altitude Above Channel Network* (altitude em relação ao canal), *Wetness Index* (índice de umidade), *Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness*, MRVBF (potencial erosivo), *Slope* (declividade), *Ls Factor* (fator topográfico), *Profile Curvature* (perfil de curvatura), *Plan Curvature* (plano de curvatura). A escolha dos referidos índices justifica-se devido a relação dos mesmos com os processos geomorfológicos e parâmetros pedológicos. O Quadro 1 relaciona os Índices de Representação do Relevo a referência em que foi publicado o respectivo método.

A Altitude em Relação ao Canal de Drenagem, *Altitude Above Channel Network*, AACN, representa a distância vertical da célula em questão em relação à célula mais próxima localizada na rede de drenagem. Valores pequenos de AACN indicam locais em que o lençol freático pode estar mais próximo da superfície do solo, sendo caracterizadas como zonas de acumulação (BÖHNER *et al.*, 2002). Os valores intermediários indicam zonas de transferência de material, geralmente nos locais de maior declive (encostas), enquanto valores maiores indicam condições mais elevadas da superfície geomórfica (possíveis zonas de perda de material) (BÖHNER *et al.*, 2002).

O Índice de Umidade, *Wetness Index*, TWI, descreve a tendência de uma célula acumular água. Assim, maiores valores de TWI

indicam maior tendência de acumular água e, portanto, maior conteúdo de água no solo. (GRUBER; PECKHAM, 2009).

Índices de Representação do Relevo	Referencia
<i>Altitude above channel network</i>	<i>Olaya and Conrad, 2008</i>
<i>Wetness index</i>	<i>Olaya and Conrad, 2008</i>
<i>Multiresolution index of valley bottom flatness</i>	<i>Olaya and Conrad, 2006</i>
<i>Slope</i>	<i>Zevenbergen and Thorne, 1987</i>
<i>LS – Factor</i>	<i>Olaya and Conrad, 2008</i>

Quadro 1: Índices de Representação do Relevo
Fonte: SAGA, 2005.

Lin *et al.* (2006) estabeleceram uma relação entre o TWI e a drenagem, identificaram para os solos bem drenados valores variando de 4 a 5, para solos moderadamente drenados uma variação de 5 a 7 e para os solos mal drenados valores entre 7 e 12. Prates (2010) verificou que os valores maiores que 8 estão relacionados aos solos de caráter hidromórfico.

O Potencial de Erosão e Sedimentação, *Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness*, MRVBF, foi projetado para mapear áreas de sedimentação e deposição na paisagem. Define e distingue os fundos de vale de encostas e combina diferentes paisagens em um único índice (WANG; LAFANT 2009).

Mckergow *et al.* (2007) utilizaram o valor 0,5 como limiar para a identificação da variação do relevo. Locais com MRVBF menor que 0,5 reportam-se às encostas; valores maiores que 0,5 e menores que 1 correspondem a pequenos fundos de vale; e os maiores que 1 a fundos de vale maiores.

A Declividade, *Slope*, é definida por Burrough (1986) como sendo um plano tangente à superfície, expresso como a mudança de elevação sobre certa distância, normalmente calculada em graus ou em porcentagem.

Sua estreita associação com os processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento), torna uma variável básica para a segmentação de áreas nos procedimentos de planejamento territorial. Sendo, assim, os métodos de avaliação de terras ou planejamento conservacionista, baseados em modelagem numérica ou em decisões lógicas, lidam com esta variável (VALERIANO, 2008).

Exerce influência direta sobre a velocidade do escoamento superficial e subsuperficial de água, refletindo tanto no processo de erosão quanto de deposição

(GALLANT; WILSON, 2000). Diante destas características, este atributo se mostra relevante ao manejo e às práticas conservacionistas (SANTOS, 2004).

O Fator Ls, *LS Factor*, representam o efeito da topografia sobre a erosão (quanto maior LS, maior potencial erosivo), e reproduz o efeito combinado do comprimento e grau de declive da encosta. Bertoni e Lombardi-Neto (1990) o definem como a relação esperada de perdas de solo por unidade de área, em um declive qualquer, comparada às perdas de solo correspondente em uma parcela unitária padrão de 25 metros de comprimento, com 9% de declividade.

Mansor *et al.* (2002) estabeleceram os seguintes parâmetros para Fator Topográfico: áreas com valores de 0 a 4 estão livres dos processos erosivos; de 4 a 6 são propícias, dependendo, do seu uso e manejo; e entre 6 e 10 caracterizam-se como locais altamente susceptíveis aos processos erosivos.

O Quadro 2 sintetiza a discussão apresentada nos parágrafos anteriores, facilitando a visualização dos atributos e valores empregados na presente pesquisa como variáveis e parâmetros à aquisição dos resultados.

ÍNDICE DE UMIDADE – TWI						
Condição Pedológica		Parâmetros TWI				Referência
Solos bem drenados		Valores variando de 4 a 5				Lin <i>et al.</i> (2006)
Solos moderadamente drenados		Valores variando de 5 a 7				
Solos mal drenados		Valores variando de 7 a 12				
Solos de mal drenados		Valores maiores que 8				Prates (2010)
POTENCIAL DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO - MRVBF						
Condição Pedológica		Parâmetros MRVBF				Referência
Superfícies de erosão		Valores inferiores a 0,5				Mckenzie e Gallant (2007)
Superfícies de deposição		Valores superiores a 0,5				
DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES CLINOGRÁFICAS						
Classes	Até 2%	2 a 5%	5 a 10%	10 a 15%	15 a 45%	Lepch (1991)
RELAÇÃO DECLIVIDADE E COMPRIMENTO DE RAMPA - LS FACTOR						
Condição Pedológica		Parâmetros LSFATOR				Referência
Potencial erosivo baixo		0 a 4				Mansor <i>et al.</i> (2002)
Propício erosivo médio		4 a 6				
Potencial erosivo alto		6 a 10				

Quadro 2: Parâmetros estabelecidos para o processamento dos IRR.
 Organizador: Maganhotto, 2012.

O processamento dos atributos topográficos e o estabelecimento dos parâmetros fundamentou a aquisição de informações relacionadas ao relevo e o entendimento da tipologia e intensidade dos processos de erosão, deposição e acúmulo de água, servindo de base à aquisição de informações pedológicas, assim como, à identificação de áreas com diferentes graus de limitação de uso.

A AQUISIÇÃO DE DADOS PEDOLÓGICOS A PARTIR DOS ÍNDICES

A análise envolvendo os IRR e os solos teve como ponto de partida a quantificação dos atributos (AACN, MRVBF, *Ls Factor*, *Slope* e TWI) nas classes pedológicas, mapeadas pela EMBRAPA (Latosolos - LVd2 e LVd9 e Cambissolos - CHa7, CXbd28), e a sobreposição do mapa de solos às imagens dos referidos índices.

Posteriormente, realizou-se a atividade de campo orientada pela seleção de 30 pontos distribuídos no perímetro da unidade, contemplando, tanto as situações em que os IRR se mostraram condizentes às características pedológicas mapeadas pela EMBRAPA (1984), quanto àquelas que deferiram.

Nas áreas pontuadas, localizadas em campo com auxílio de GPS de navegação, imagem de satélite e de mapa de uso do solo, realizaram-se sondagens com trado holandês nos primeiros 100 cm de profundidade para verificação de características morfológicas, como: consistência, coloração, permeabilidade e presença de cascalho. De posse destes dados, verificou-se a pertinência dos IRR com as variáveis abordadas em campo, demonstrando a aplicabilidade destes atributos em estudos pedológicos.

A LÓGICA FUZZY E ANÁLISE POR MÚLTIPLOS CRITÉRIOS NO ESTABELECIMENTO DAS CLASSES LIMITANTES

A padronização *Fuzzy* tem por finalidade colocar todas as imagens das variáveis consideradas na análise, em uma mesma escala, para tornar possível a integração de todos os dados em ambiente de geoprocessamento (SOUZA *et al.*, 2005, p.142).

Definido o tipo de função (linear, j-amoldado, sigmoidal), cria-se uma curva (crescente ou decrescente) representando a variação dos valores de cada variável. Durante este processo, as imagens foram reclassificadas para uma escala contínua de valores variando de 0 a 255 níveis. No final da padronização *Fuzzy*, as imagens apresentam uma mesma escala, variando de 0 a 255, viabilizando a integração dos dados para geração do mapa das Classes Limitantes.

Para a Altitude em Relação ao Canal de Drenagem, AACN, as áreas próximas à rede de drenagem têm seu uso restringido, o acúmulo de água e a suscetibilidade à inundação nas adjacências tornam-nas mais restritas ao uso. Essa

variação descreve-se através de uma curva j-amoldado crescente, tendo como ponto de inflexão o valor 2. Assim, valores abaixo do ponto de inflexão reportam-se ao valor 0, enquanto os maiores assumem uma crescente até 255, representando uma condição menos limitante, devido aos solos com boa drenagem e a não ocorrência de inundações.

Segundo Lin *et al.* (2006) e Prates (2010), locais com valores de Índice de Umidade, TWI, acima de 7 e 8, respectivamente, correspondem a solos mal drenados. Desta feita, ficou estabelecido como ponto de inflexão para o fator TWI o valor 8. Assim, os valores maiores que 8 estão associados a solos saturados, configurando-se como uma condição de uso restrito. Utilizou-se para representação a função j-moldado decrescente, onde valores de TWI menores que 8 tomaram para si o valor 255 e para os maiores que 8 há um decréscimo contínuo de aptidão e de valores chegando a 0.

O ponto de inflexão de 15%, considerado para o fator Declividade, *Slope*, seguiu o parâmetro apontado por Lepch (1991). A relação de causa e efeito existente entre a declividade e os processos erosivos tornam as áreas com declividade acima de 15% mais restritivas e seu uso implica em intervenções para assegurar sua conservação. Para esta classificação foi usada uma função J-moldado decrescente, onde locais com até 15 % de declive possuem valores de 255 caracterizando a inexistência de restrições, no entanto, para as maiores que 15% há um decréscimo contínuo de aptidão chegando a 0, pois sua restrição é proporcional ao aumento da declividade.

Mckenzie e Gallant (2007), ao estudar o Potencial Erosivo, MRVBF, verificaram que as áreas de maior suscetibilidade à erosão estão associadas aos valores menores que 0,5, e que os valores maiores que 0,5 associam-se a deposição. A partir da análise deste índice certificou-se por meio da imagem e da visita a campo que valores acima de 2,5 correspondem a condições de deposição recorrentes as várzeas e suas adjacências. Para sua representação, foi aplicada a função j-moldado simétrico com pontos de inflexão crescente até 0,5 e decrescente a partir de 2,5. Até 0,5, valores próximo de 0, devido a não aptidão relacionada à erosão; de 0,5 a 2,5, condição apta, registrando valores de 255, correspondendo a uma boa drenagem e baixo potencial erosivo; de 2,5 a 6, os valores decrescem até 0, devido à condição não apta relacionada à deposição e a solos mal drenados.

Baseando-se em Mansor *et al.* (2002), definiu-se 4 como ponto de inflexão para o Fator Ls, *Ls Factors*. Este fator foi representado por uma função j-moldado decrescente, onde os valores menores que o ponto de inflexão reportam-se as condições aptas com potencial erosivo baixo e valores próximos a 255. Os valores maiores que 4 configuram-se como condições inaptas, decrescendo continuamente até 0, devido à propensão ao processo erosivo.

Determinação dos pesos e importância relativa

Em seguida, efetuou-se a ponderação através da comparação pareada entre os fatores (WEBER e HASENACK, 1999), o processo resulta em um peso para cada fator em uma avaliação de consistência da comparação pareada. A razão de consistência (*ConsistencyRatio - CR*) informação usuário sobre inconsistências ocorridas durante a atribuição dos pesos. Segundo Saaty e Vargas (1991), a CR não pode ser superior a 0,1, caso ocorra faz-se necessário reavaliar o processo. A Tabela 1 ilustra a comparação pareada e o estabelecimento da variável de maior relevância.

Tabela 1: Valores estabelecidos na comparação pareada

IRR	MRVBF	TWI	LS	AACN	SLOPE
MRVBF	1				
TWI	1/2	1			
LS	1	2	1		
AACN	1/2	1	1/2	1	
SLOPE	1/5	1/2	1/3	1/2	1

Fonte: Software Idrisi Andes.

Os pesos resultantes da comparação e a razão de consistência encontram-se dispostas na Tabela 2.

Tabela 2: Pesos resultantes da comparação pareada

IRR	PESOS
MRVBF	0,3228
LS	0,2916
TWI	0,1536
AACN	0,1536
SLOPE	0,0784
Razão de Consistência: 0.00 (aceitável)	

Fonte: Software Idrisi Andes.

O maior peso para o MRVBF se justifica por sua relação com a erosão e sedimentação. A identificação de áreas suscetíveis à erosão e à deposição auxilia na determinação de zonas mais restritivas destinadas ao uso indireto dos recursos naturais.

O Ls Factor, como produto da relação entre a declividade e comprimento de rampa vem em segundo, configurando-se como um indicativo de áreas com baixo, médio e alto potencial erosivo (MANSOR *et al.*, 2002).

O TWI e o AACN tiveram mesmo peso, por se tratarem de variáveis complementares na indicação de áreas sujeitas ao acúmulo de água e a inundações. Ao associar estes fatores a declividade pode-se identificar áreas com solos mal drenados, além disso, por estarem relacionados à drenagem auxiliam no planejamento de programas de conservação da mata auxiliar e também, como os demais atributos citados, na prevenção de assoreamentos dos rios.

Apesar de sua influencia direta sobre o processo erosivo, a Declividade teve menor peso para não favorecer áreas planas relacionadas à deposição como as várzeas com alto índice de umidade e acúmulo de água. Entende-se que o relevo plano não garante a inexistência de limitações de uso.

O último passo no processo de agregação dos fatores foi a aplicação da regra de decisão, utilizando-se o método de agregação por múltiplos critérios (*MultiCriteria Evaluation*– MCE) através da Combinação Linear Ponderada (*Weight Linear Combination*–WCL).

3. RESULTADOS

A DISPOSIÇÃO DOS ÍNDICES DE REPRESENTAÇÃO DO RELEVO

O processamento dos IRR identificou áreas suscetíveis aos processos de erosão e sedimentação e o acúmulo de água. A Altitude em Relação ao Canal de Drenagem, *Altitude Above Channel Network*, AACN, Figura 2, variou de 0 a 54,66 metros, sendo que os menores valores associam-se a drenagem e os maiores aos topos de morro.

A partir dessa análise pode-se perceber que os valores mais altos situam-se na região oeste e os baixos ao norte adentrando pela área central acompanhando o Rio Imbituva e a oeste com o Rio das Antas.

O Índice de Umidade, *Wetness Index*, TWI, Figura 3, apresenta uma variação de 3 a 23, os valores mais altos deste atributo correlacionam-se com a rede de drenagem e adjacências, ou seja, os valores indicativos de umidade encontram-se, também, a oeste e ao norte adentrando pelo centro acompanhando os rios.

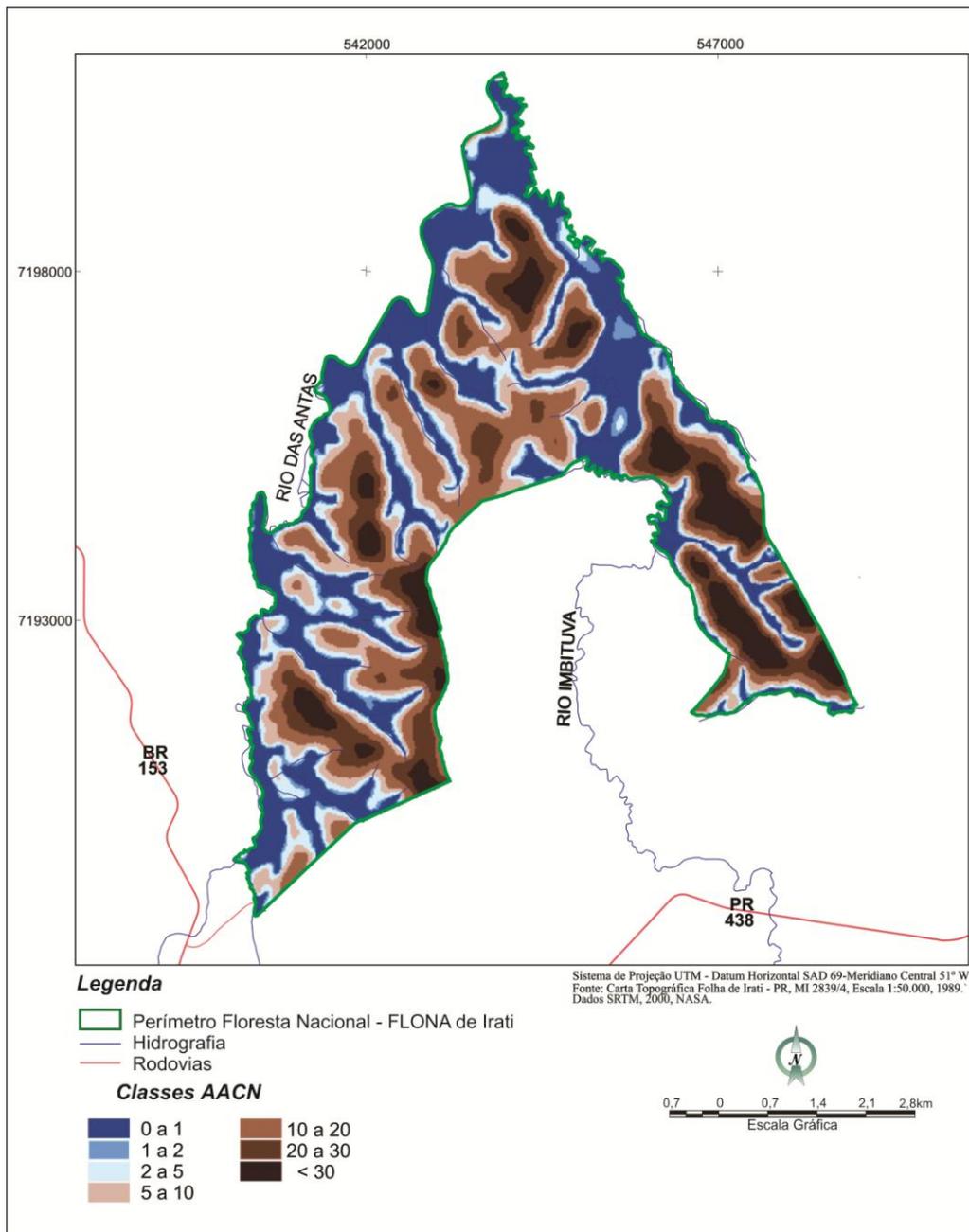


Figura 2: Distribuição Espacial do AACN na FLONA de Irati.
Fonte: Maganhotto, 2012.

Baseando-se nos parâmetros determinados por Prates (2010) e Lin *et al.* (2006), pode-se afirmar que cerca de 1850 ha, 51% da unidade, correspondem a superfícies mal drenadas associadas a valores de TWI maiores que 8. As demais áreas situam-se em condições de boa drenagem, registrando valores abaixo de 8.

O Potencial de Erosão e Sedimentação, *Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness, MRVBF*, variou de 0 a 5,95, onde os valores mais altos inerentes a deposição situam-se próximos e ou sobrepostos a drenagem, enquanto os valores

menores, indicativos de processos erosivos, apresentam-se de forma mais contínua na região leste, onde foram registradas as maiores declividades.

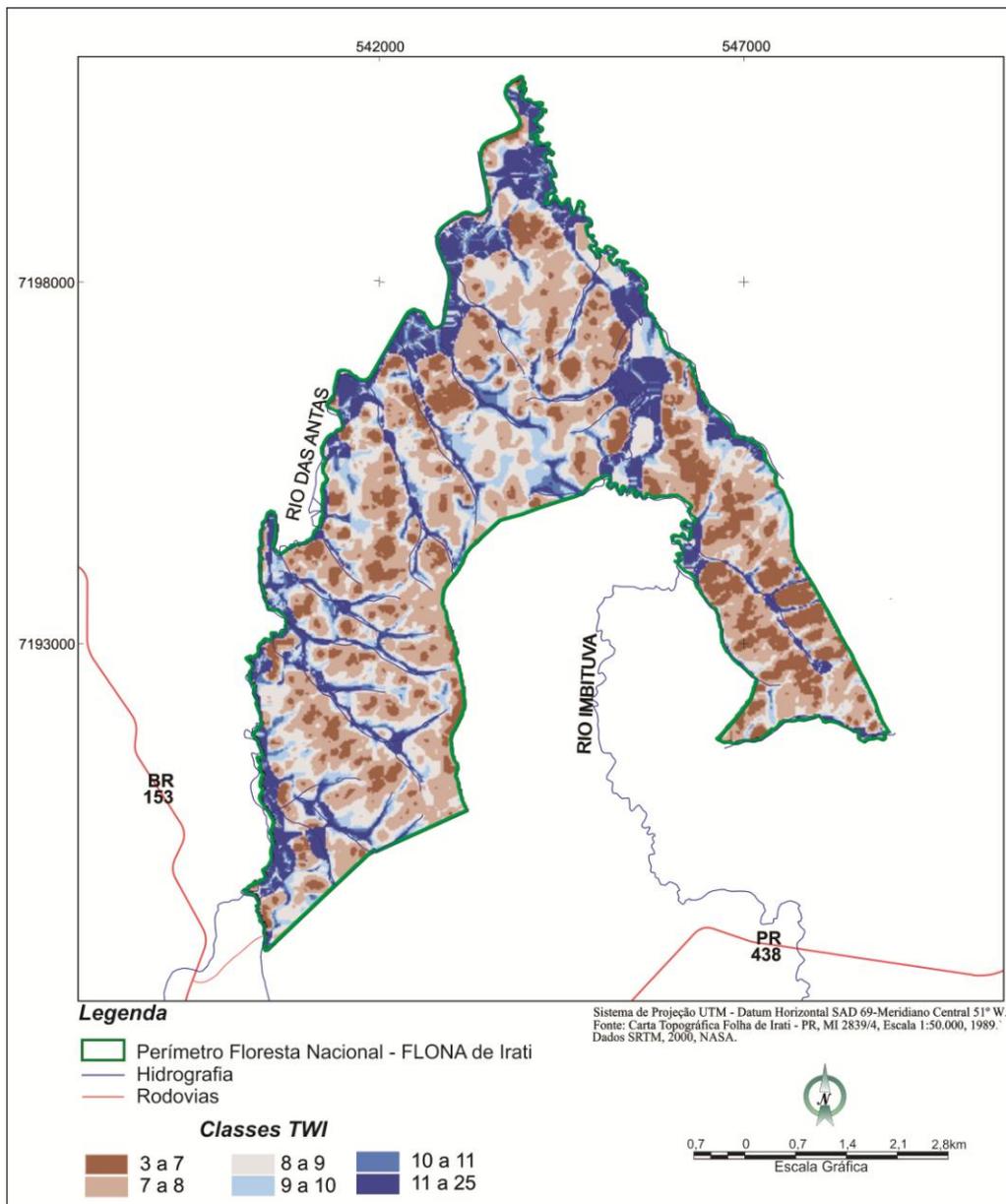


Figura 3: Distribuição Espacial do TWI na FLONA de Irati.
Fonte: Maganhotto, 2012.

Correlacionando as informações tabuladas com os parâmetros definidos por Mckenzie e Gallant (2007) para o referido atributo, pode-se afirmar a ocorrência de erosão em, aproximadamente, 936 ha, 25% da FLONA inseridos no intervalo de 0 a 0,5. Registrou-se, também, sedimentação para as áreas caracterizadas por valores acima de 2,5, presentes em, cerca de 789 ha, equivalentes a 21% da unidade, Figura 4.

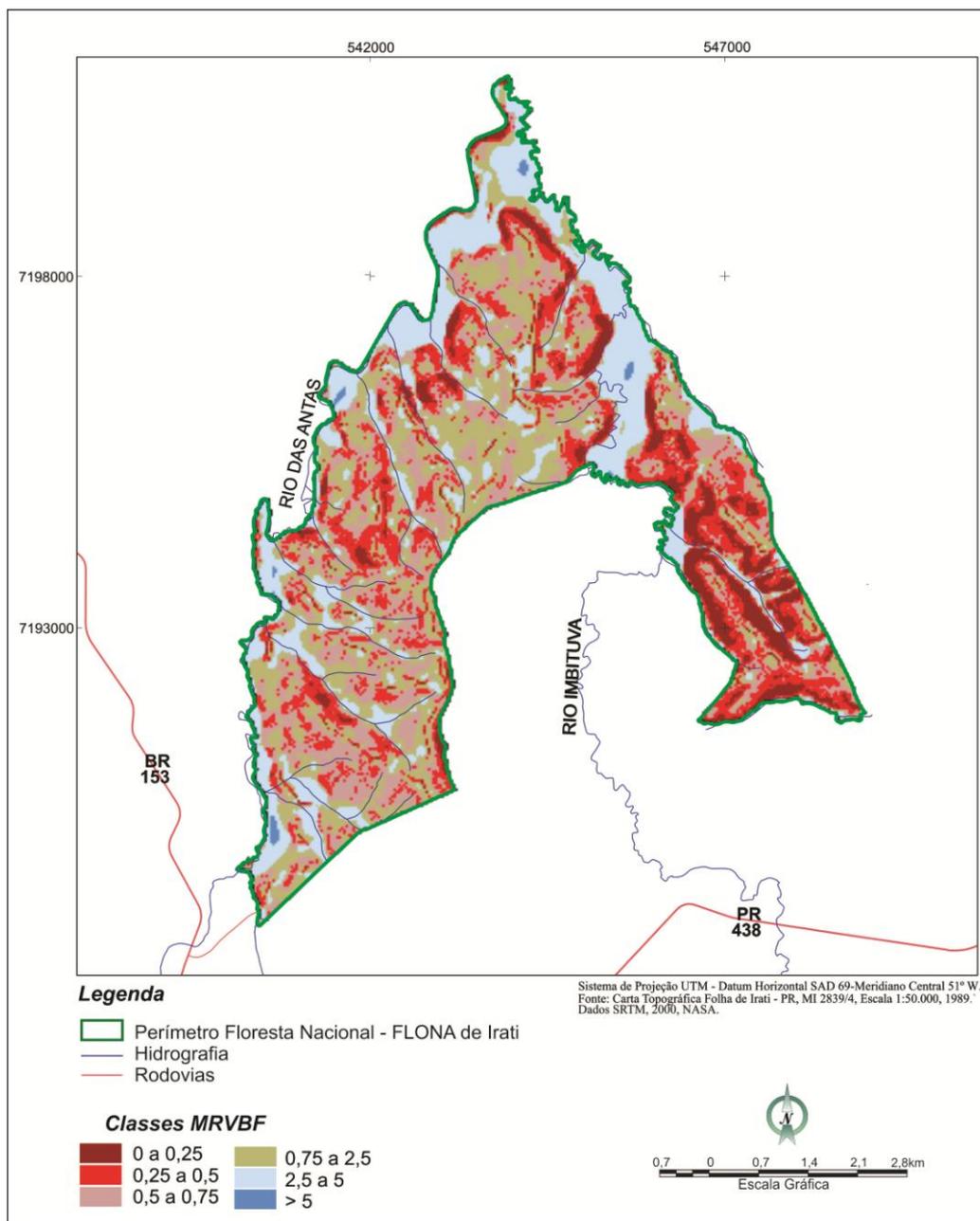


Figura 4: Distribuição Espacial do MRVBF na FLONA de Irati.
Fonte: Maganhotto, 2012.

O Fator L_s , LS Factor (produto da relação entre a declividade e o comprimento de rampa), Figura 5, apresenta uma variação entre os valores de 0,79 a 10,65.

O processamento da variável Declividade, $Slope$, demonstrou uma condição clinográfica variando de plano a ondulado, no intervalo de 0 a 30%, discretizados em cinco classes de declive definidas a partir da classificação proposta por Lepch (1991).

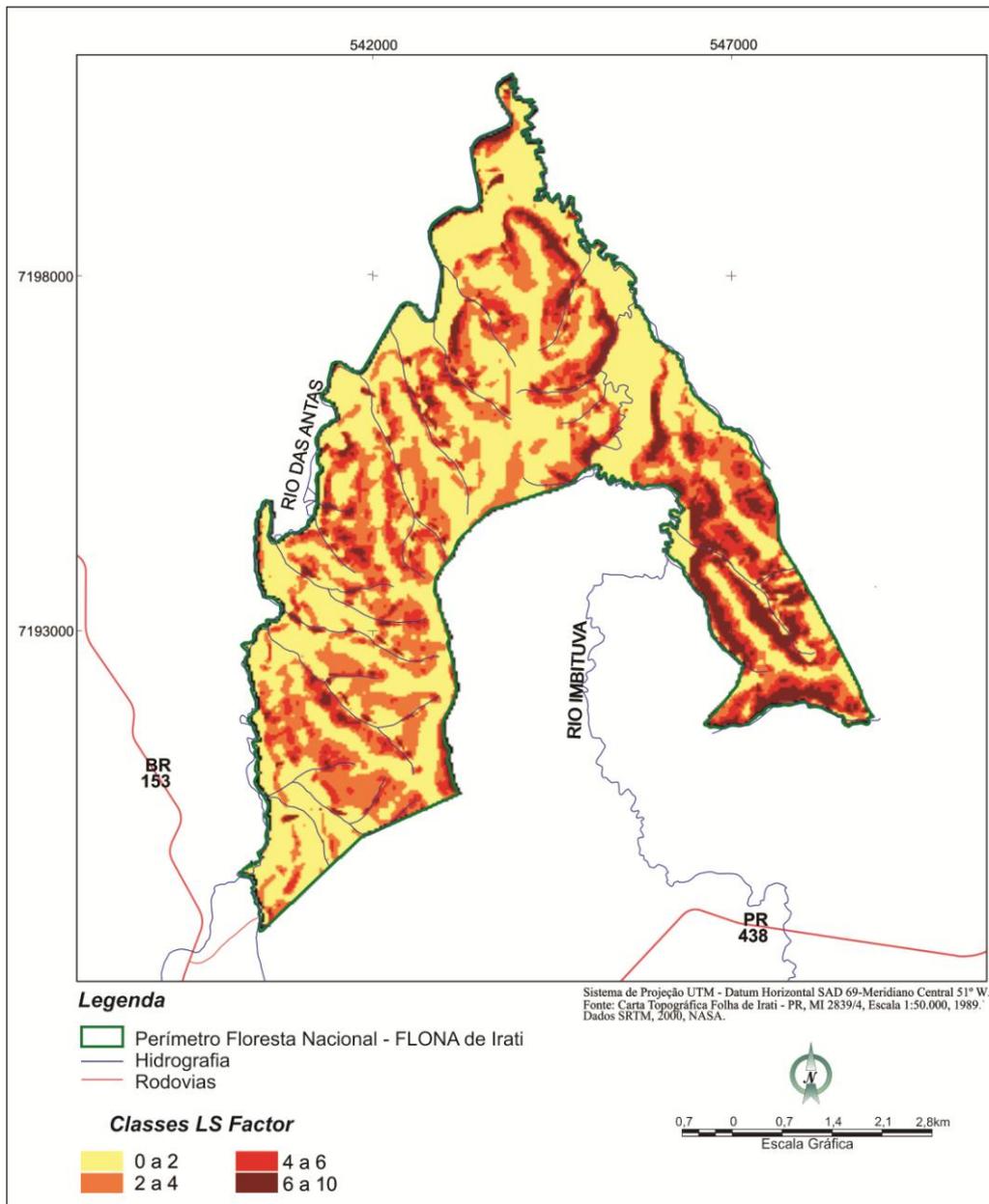


Figura 5: Distribuição Espacial do *Ls Factor* na FLONA de Irati.
Fonte: Maganhotto, 2012.

Verificou-se com a caracterização deste atributo que 5,1% da unidade, encontram-se em declividades maiores que 15%, necessitando de maiores cuidados devido sua propensão aos processos erosivos, Figura 6.

A partir da interpretação destes dados, pode-se afirmar que as regiões norte e leste da unidade apresentam-se mais vulneráveis aos processos erosivos, enquanto nas regiões oeste e norte, adentrando pela parte central da área margeando os Rios das Antas e Imbituva, verificam-se altos índices de umidade, denotando acúmulo de água e áreas inundáveis.

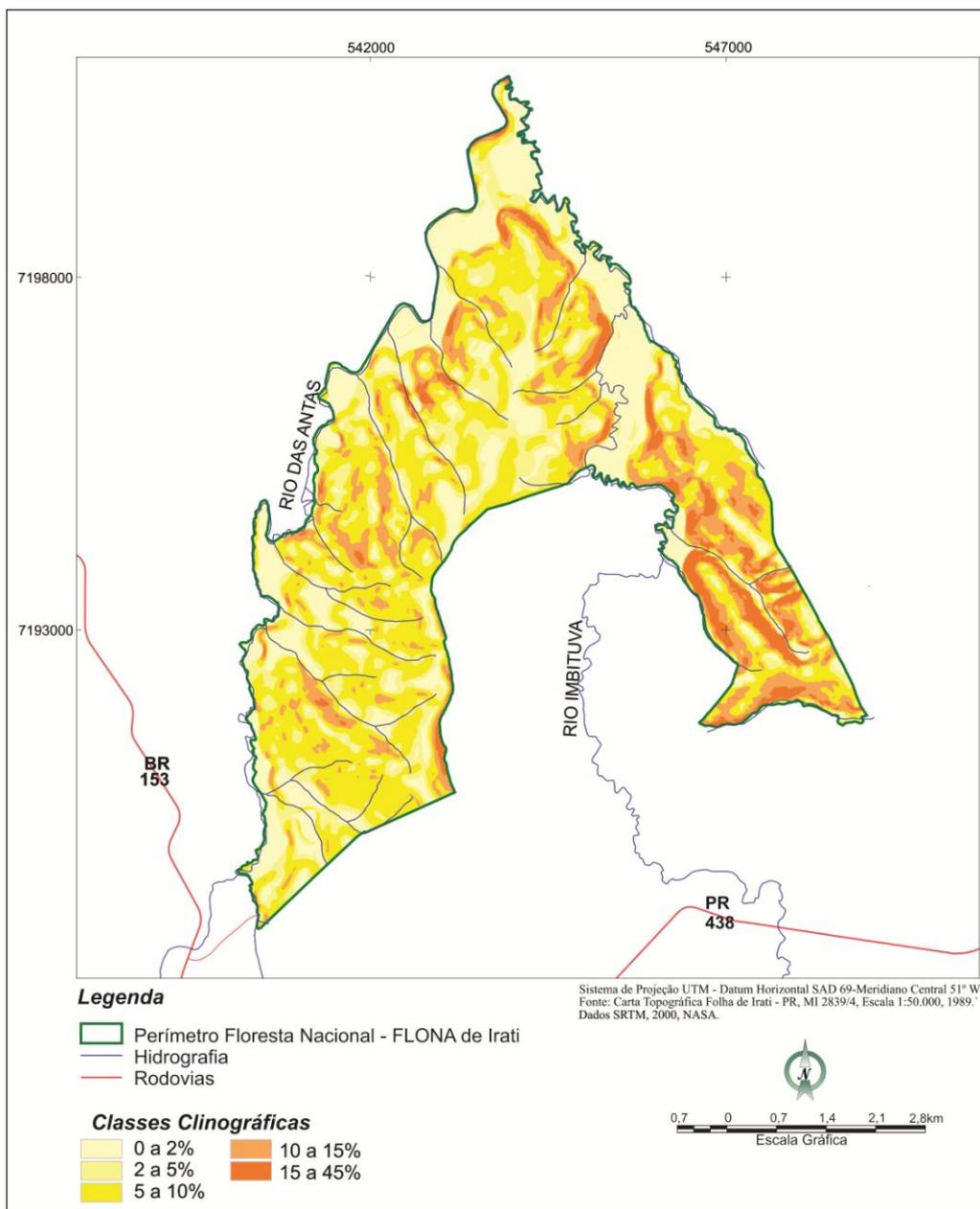


Figura 6: Carta Clinográfica.
Organizado: Maganhotto, R.F.

O processamento desses atributos permitiu a caracterização do relevo e de fenômenos associados, orientando a aquisição de informações pedológicas e de limitação de uso, apresentadas nos próximos itens.

A CORRELAÇÃO DOS ÍNDICES DE REPRESENTAÇÃO DO RELEVO COM OS SOLOS DA FLONA DE IRATI

Os solos configuram-se como uma variável importante à realização do planejamento ambiental, sua análise contribui no entendimento de processos

naturais agregando informações sobre aspectos ambientais (SANTOS, 2004; SIRTOLI, 2008).

O mapeamento do Estado do Paraná encontra-se na escala de 1:600.000, e de acordo com a classificação do IBGE (2007) esta escala enquadra-se para os levantamentos de reconhecimento, mostrando-se inadequada para orientação de pesquisas relacionadas ao planejamento ambiental de UC, dependentes de informações pedológicas mais detalhadas.

De acordo com o levantamento de solos realizado pela EMBRAPA, a composição pedológica da FLONA de Irati compreende duas unidades de Latossolos Distróficos (LVd2 e LVd9) e duas de Cambissolos, sendo uma Húmico Alumínico (CHa7) e a outra Háplicos Tb Distróficos (CXbd28)(Figura 7). De acordo com a EMBRAPA (2008), estas unidades se caracterizam, como:

- LVd2 – Associação de Latossolo Vermelho Distrófico úmbrico, fase relevo suave ondulado + Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico úmbrico, ambos textura argilosa, álicos fase floresta subtropical perenifólia relevo suave ondulado.
- LVd9 – Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura argilosa, A moderado, álico, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado.
- CHa7 – Cambissolo Húmico Alumínico típico, textura argilosa, fase campo subtropical, relevo forte ondulado e montanhoso, substrato filtros.
- CXbd28 – Associação de Cambissolo Háplico Tb Distrófico argissólico úmbrico, textura argilosa, substrato folhelhos silticos + Neossolo Litólico Distro-úmbrico típico, textura média, substrato arenitos e siltitos, ambos álicos, fase floresta subtropical perenifólia, relevo ondulado.

A classe LVd9 é a mais representativa em área, ocupa em torno de 1460,6 ha. Em seguida, registra-se 920,2 ha para a classe CHa7, a LVd2 delimita 887,1 há, e, por fim, os solos CXbd28 têm sua ocupação em cerca de 349,8 ha da unidade.

O vínculo existente entre o relevo e os solos tem motivado a realização de uma série de pesquisas utilizando os IRR para geração de dados pedológicos. Assim, os IRR passaram por uma análise direcionada à obtenção de informações pedológicas, as quais foram associadas ao mapeamento existente e as características morfológicas evidenciadas em campo.

Baseando-se na quantificação dos IRR (AACN, TWI, MRVBF, SLOPE e *Ls Factor*) e na sua distribuição sob as classes pedológicas (Latosolos - LVd2, LVd9 e Cambissolos - CHa7 e CXbd28), identificou-se incompatibilidades, mediante as

características dos solos mapeados pela EMBRAPA e as informações derivadas dos IRR.

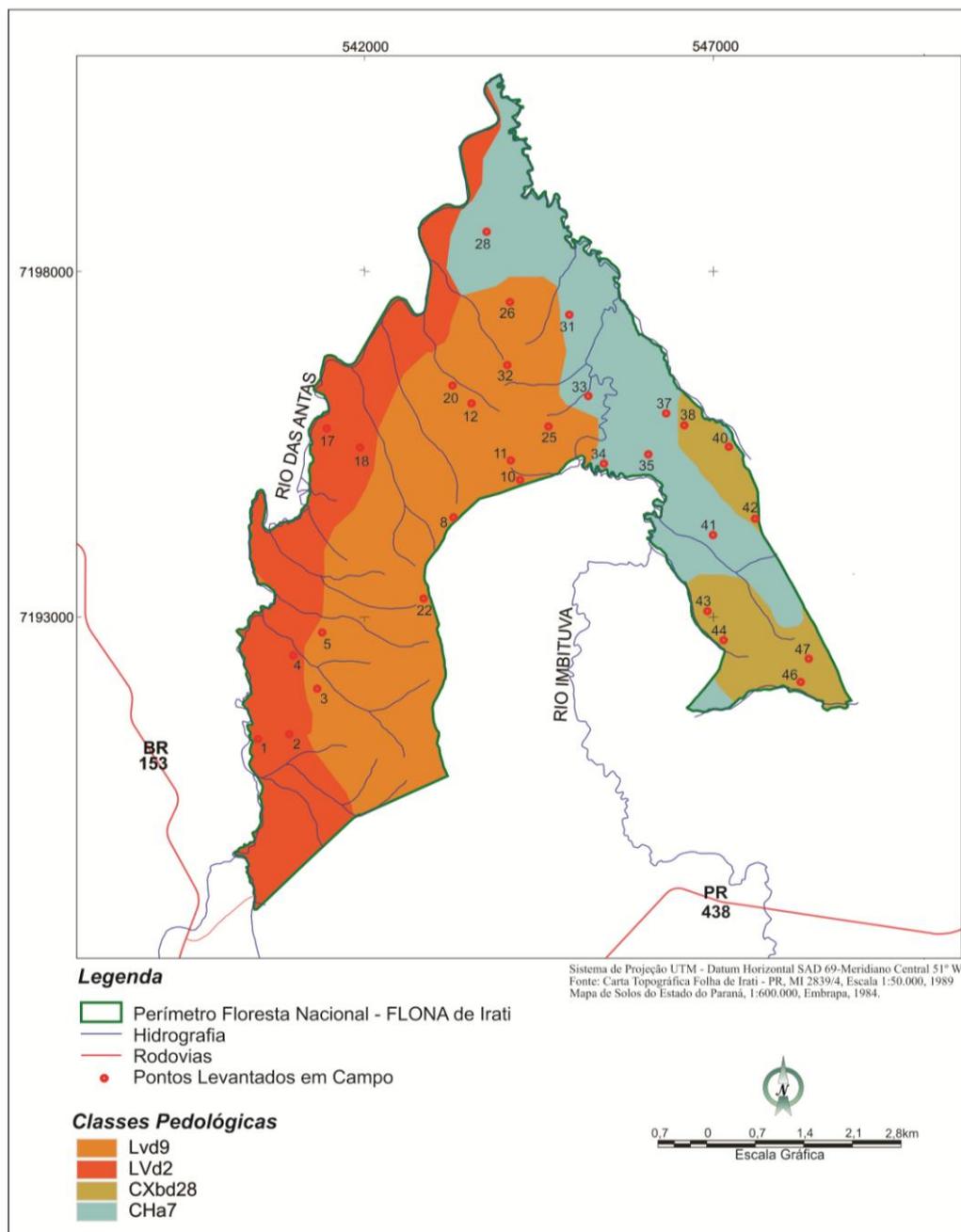


Figura 7: Mapa de Solos FLONA de Irati.
Fonte: EMBRAPA, 1984.

De acordo com Correa (1984), EMBRAPA (1984) e UFPR (2007) os Latossolos caracterizam-se como solos permeáveis, de boa drenagem e estáveis. No entanto, ao visualizar os valores máximos e mínimos dos IRR e sua disposição espacial nestas classes pedológicas, verificou-se a existência de áreas com erosão e acúmulo de água, condições incompatíveis as características dos Latossolos.

EMBRAPA (1984) e UFPR (2007) informaram que os Cambissolos localizam-se em relevos mais declivosos, configurando-se como solos menos estáveis e menos desenvolvidos que os Latossolos. Ao associar os valores dos IRR a estes solos, identificou-se, também, a existência de áreas com acúmulo de água e alto potencial erosivo, divergindo dos parâmetros inerentes aos Cambissolos.

Divergências que motivaram a realização de saídas a campo, orientadas pela determinação de 30 pontos de coleta, onde o levantamento de informações primárias fundamentou a comparação da condição física evidenciada em campo as informações pedológicas inerentes ao mapa de solos da EMBRAPA e a caracterização dos IRR.

Por meio da quantificação dos índices para os pontos (5, 10, 11, 12, 20, 25, 26, 32, 2, 4 e 18) selecionados nas classes dos Latossolos (LVd9 e LVd2), verificaram-se valores correspondentes a uma boa drenagem, baixo potencial erosivo, declividade moderadamente ondulada e Ls baixo.

Nas classes dos Cambissolos (CXbd28 e CHa7), os pontos (38, 40, 42, 47, 31, 33, 35, 37 e 41) registraram valores de MRVBF menores, associados a maiores declividades e Fator LS mais elevados caracterizando solos menos desenvolvidos e com maior potencial erosivo. Neste contexto, pode-se afirmar que os valores quantificados para estes pontos corresponderam às características pedológicas das classes mapeadas pela EMBRAPA na escala de 1:600.000.

No entanto, verificou-se que os valores dos pontos 1 e 17 na classe LVd2; 3, 8 e 22 na LVd9; 43, 44 e 46 na CXbd28; e 28 e 34 na CHa7, destoaram dos demais, por apresentarem características diferentes dos solos, levantados pela a EMBRAPA, em que se encontram inseridos.

Os pontos de coleta 1 e 17, inseridos na classe LVd2, situam-se nas proximidades do Rio das Antas, fato que explica os, valores de 13 e 11, respectivamente, para o TWI, e 0 para a variável AACN indicativos de alto índice de umidade e acúmulo de água. Registraram-se para o MRVBF, nestes pontos, valores acima de 3,5, indicando à existência de processos sedimentares, comuns as várzeas, como a área em que se encontram localizados. Estes parâmetros não correspondem características dos Latossolos, a cor acinzentada, a condição

saturada e sua posição na paisagem reforçam uma realidade próxima de Gleissolos.

Estes parâmetros não correspondem características dos Latossolos, a cor acinzentada, a condição saturada e sua posição na paisagem reforçam uma realidade próxima de Gleissolos.

O ponto 28 encontra-se nas proximidades dos Rios das Antas e Imbituva, enquanto o 34 situa-se na margem do Rio Imbituva. Situados na classe dos Cambissolos, CHa7, estes pontos, também, apresentaram indicativos de acúmulo de água e de sedimentação por meio dos valores de TWI de 12 e 10, respectivamente, AACN de 0 e MRVBF acima de 3,5. A declividade plana, a proximidade com os rios, o processo de sedimentação, a cor escura e a presença de água verificados nestes pontos, caracterizam os Gleissolos.

Os pontos 3, 8 e 22, situados na Classe LVd9, encontram-se, respectivamente, a 23, 17 e 24 metros da rede de drenagem, estes valores de AACN demonstram, juntamente com os registros de TWI abaixo de 7, solos com boa drenagem. Foi registrado, para o ponto 3, alto potencial de erosão, fato verificado a partir de seu MRVBF de 0,06, e Ls Factor de 6. Os pontos 8 e 22, mesmo não apresentando valores tão acentuados quanto o anterior, registraram potencial erosivo com valor de 0,5 e 0,4 para MRVBF. Estes parâmetros não correspondem as características dos Latossolos, mas a solos menos desenvolvidos, como os Cambissolos presentes nesta classe como uma possível inclusão. Complementando a caracterização dos IRR, verificou-se durante a sondagem para estes pontos uma amostra de solo pouco estruturada e adensada a partir dos 60 cm de profundidade.

Os pontos 43, 44 e 46 encontram-se na região sudeste da FLONA, onde foram mapeadas as maiores declividades da unidade, conseqüentemente, registraram-se para os respectivos atributos valores indicativos de processos erosivos. Verificou-se para estes pontos valores de MRVBF menor ou iguais a 0,3, associados a declividades maiores que 11% e a Ls Factor acima de 5,9.

Durante as sondagens verificaram-se para os solos amostrados nos pontos 43, 44 e 46 o aumento significativo da consistência e a variação da cor a partir dos 40cm. A amostra do ponto de coleta 43 apresentou pequena variação de cor, tornando-se mais consistente a partir dos 50 cm de profundidade. O solo amostrado no ponto 44 apresentou significativa variação de cor a partir dos 50 cm e sua

consistencia tornou-se mais acentuada a partir dos 60 cm. Verificou-se no ponto de coleta 46 um solo com alteração de cor a partir dos 40 cm, maior consistencia a partir dos 60 cm e com presença de cascalho nos ultimos 20cm. Acredita-se que esta variação esta associada a posição do ponto na vertente indo de encontro as abordagens de (GERRARD, 1981, *apud* COELHO 2010).

Os valores dos IRR quantificados para esses pontos, assim como, as características morfológicas levantadas em campo, reportam-se a solos em um estágio inicial de desenvolvimento recorrentes a solos mais jovens como os Neossolos.

Desta forma, a análise conjunta das informações derivadas dos IRR, dos dados coletados durante a atividade de campo e do mapeamento de solos da EMBRAPA, demonstrou a correlação dos índices às condições pedológicas da FLONA de Irati, ressaltando a importancia de um mapeamento em escala maior do que a consultada de 1:600.000 para embasar o planejamento ambiental em UC.

A APLICAÇÃO DOS ÍNDICES À DETERMINAÇÃO DE CLASSES LIMITANTES

A proximidade destes atributos com os processos geomorfológicos, parâmetros pedológicos e características das vertentes, demonstrou sua aplicabilidade à obtenção de áreas com diferentes graus de limitação de uso. A síntese dos atributos (AACN, TWI, *Slope*, MRVBF e *Ls Factor*) apresentaram 4 classes, denominadas Classe com Limitação Muito Baixa, Baixa, Média e Alta, representadas na Figura 8. A Tabela 3 apresenta os valores dos atributos registrados para cada classe.

Tabela 3: Distribuição dos Índices nas Classes de Limitação

CLASSES DE LIMITAÇÃO DE USO								
IRR	Muito Baixa				Baixa			
	Min.	Max.	Média	Desvio	Min.	Max.	Média	Desvio
AACN	0	63.54	19.89	12.83	0	63.54	9.98	11.49
TWI	3.91	14.53	7.86	0.78	3.92	17.20	8.44	1.19
MRVBF	0.57	2.82	1.35	0.51	0.27	5.73	1.20	0.81
SLOPE	0	10.40	3.47	1.53	0	13.21	5.31	2.16
LS FACTOR	0	2.46	0.74	0.42	0.27	5.73	1.20	0.81
IRR	Média				Alta			
	Min.	Max.	Média	Desvio	Min.	Max.	Média	Desvio
AACN	0	63.59	8.39	12.38	0	59.33	13.03	10.92
TWI	3.32	24.03	9.62	2.85	2.84	24.03	7.80	1.92
MRVBF	0.00	5.99	2.18	1.87	0	6.01	0.48	0.94
SLOPE	0	18.16	4.41	4.05	0	48.26	12.86	4.54
LS FACTOR	0	11.72	1.63	1.68	0	91.46	5.92	2.80

Fonte: Maganhotto, 2013.

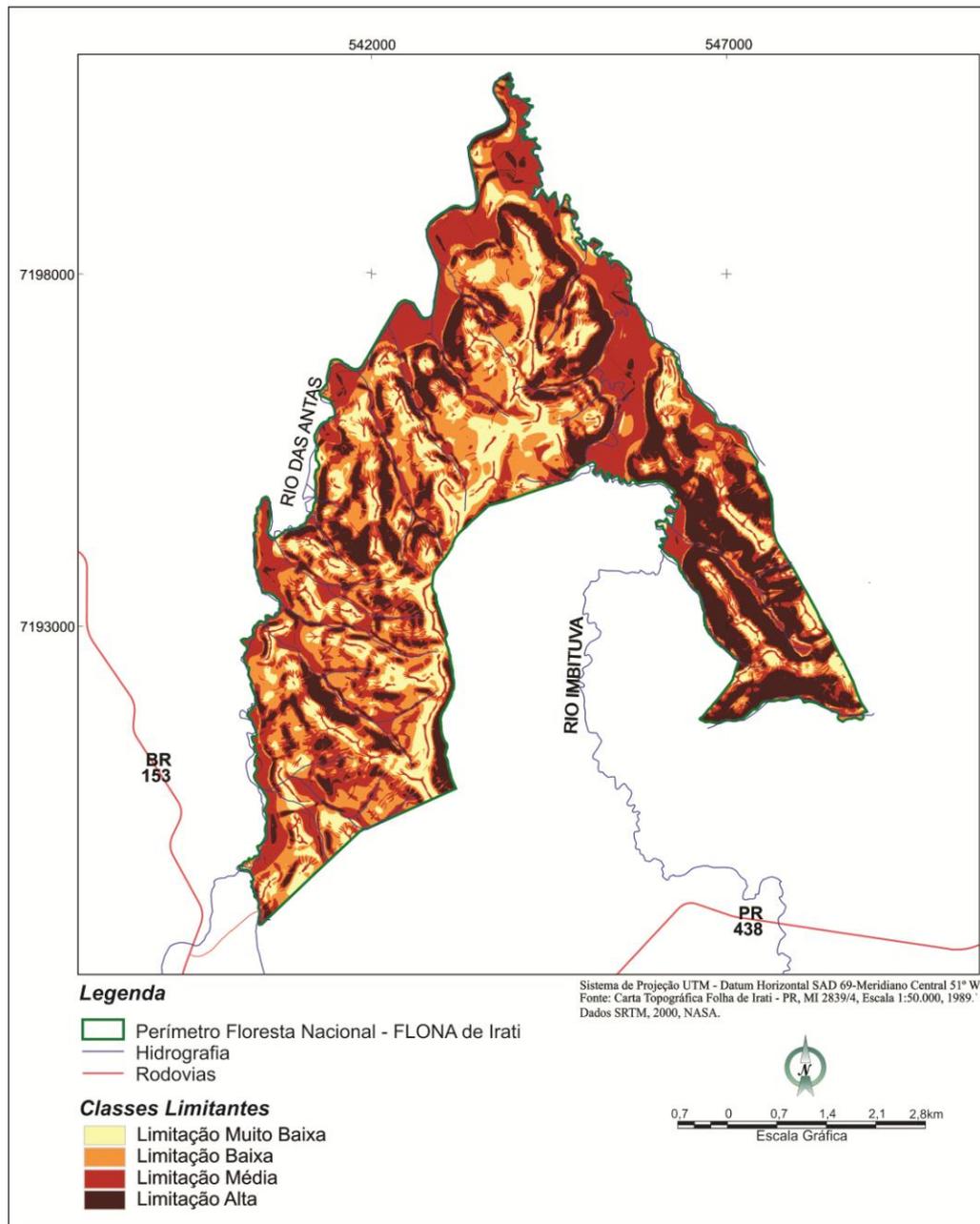


Figura 8: Classes de Limitação.

Fonte: Maganhotto, 2012.

A Classe com Limitação Alta compreende cerca de 845 há; registrou-se para estas áreas as maiores limitações, devido sua alta propensão à sedimentação, erosão e ao acúmulo de água. A quantificação dos atributos demonstrou com os valores médios o predomínio de áreas com alto potencial erosivo, fato constatado pelas médias do *Slope* de 12,8%, do *Ls Factor* de 5,9 e do *MRVBF* de 0,4. No entanto, há locais caracterizados pela e acúmulo de água, afirmação fundamentada pelos valores máximos de *MRVBF* e *TWI*.

Prevalece na Classe com Limitação Média, distribuída em aproximados 1277 ha, problemas relacionados ao acúmulo de água e à sedimentação, e os valores médios de 9,6 do TWI e de 2,1 de MRVBF confirmam esta condição. No entanto, cabe ressaltar que as áreas localizadas na região sudeste da unidade registraram, para o MRVBF, valores indicativos de superfícies de erosão. Os valores mínimos de MRVBF e máximos do *Slope* e *Ls Factor* reforçam estas ocorrências.

Por sua vez, as Classes de Limitação Muito Baixa e Baixa ocupam em torno de 1494,35 ha, equivalentes a um percentual de 41,3% da unidade. Não registraram correlações problemáticas relacionadas aos processos erosivos, sedimentação e de umidade, configurando-se como as áreas da unidade de menor restrição e de melhor aptidão ao uso, aptas tanto às atividades de uso direto, quanto às de uso indireto.

As Classes de Limitação Média e Alta elencam 2123,7 ha, correspondentes a 58,7% da FLONA, devem ser destinadas as atividades de uso indireto e de baixo impacto vinculado à pesquisa, a visitação e educação ambiental, salvaguardando estas áreas do desencadeamento e aceleração dos impactos ambientais.

A delimitação destas classes expondo as restrições físicas da FLONA de Irati direciona seu uso de forma racional e equilibrada, pois sua capacidade de manutenção, mediante uma determinada forma de uso, está relacionada às suas aptidões e limitações.

Neste contexto, a delimitação das zonas, considerando as Classes Limitantes, favorece a adequação das atividades previstas para a unidade às suas aptidões e limitações.

4 CONCLUSÃO

Frente às dificuldades em se obter informações mais detalhadas das características pedológicas de determinada região e a lacuna quanto as variáveis e os procedimentos utilizados à determinação da fragilidade física ambiental por meio do estabelecimento de classes limitantes, a aplicação dos IRR para estes fins configuram-se como uma alternativa viável, devido sua agilidade e confiabilidade.

No entanto faz-se necessário atentar para alguns elementos, como a fonte e equidistância das curvas de nível, base para a compilação do MNT, pois estas informações quando equivocadas comprometem a veracidade dos índices, já que os mesmos derivam deste modelo.

Para a reclassificação das informações pedológicas, indica-se o processamento da Altitude em Relação ao Canal de Drenagem, AACN, o Índice de Umidade, TWI, o Potencial de Erosão e Sedimentação, MRVBF, a Declividade, Slope, e o Fator Ls, Ls Factor (relação declividade e comprimento de rampa), uma vez que, estes atributos caracterizam tanto os processos geomorfológicos, quanto parâmetros pedológicos.

Recomenda-se, também, para a reclassificação dos solos o processamento dos índices utilizando-se da análise de agrupamentos pelo Método da Mínima Distância Euclidiana (FORGY, 1965), conforme o executado por Prates (2010).

As Classes Limitantes, obtidas por meios dos índices, identificaram as diferentes Fragilidades Físicas da FLONA demonstrando as aptidões e limitações da unidade. Estas informações devem ser avaliadas de forma conjunta com o grau de conservação e biodiversidade da unidade facultando, assim, uma análise integrada das variáveis da FLONA de Irati, possibilitando um planejamento racional dos seus recursos e das atividades que a compete.

Neste contexto, é possível por meio da quantificação e espacialização dos IRRa identificação de áreas mais susceptíveis a erosão, a sedimentação e ao acúmulo de água, favorecendo levantamentos preliminares de solos e o estabelecimento de Classes Limitantes, contemplando os critérios de Zoneamento Ambiental mencionados nos Roteiros Metodológicos para Elaboração de Planos de Manejo (GALANTE *et al.*; 2002; e GONÇALVES *et al.*; 2009).

7 BIBLIOGRAFIA

BERG, M. van den; OLIVEIRA, J. B. Variability of apparently homogeneous soilscapes in São Paulo State, Brazil. II. Quality of soil maps. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.393-407, 2000.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

BOCK, M.; KOTHE, R. Predicting the Depth of hydrologic Soil Characteristics
Hamburger Beiträge zur Physischen Geographie und Landschaftsökologie –Heft 19, 2008.

BÖHNER, J.; KÖTHE, R.; CONRAD, O.; GROSS, J.; RINGELER, A.; SELIGE, T. Soil Regionalization by Means of Terrain Analysis and Process Parameterisation. In: MICHELI, E.; NACHTERGALE, F.; MONTANARELLA, L. (Ed.). Soil Classification 2002. **European Soil Bureau– Research Report**, n. 7, EUR 20398 EN, Luxembourg, p. 213-222, 2002.

BRASIL. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação do Brasil (SNUC). Brasília: Senado Federal, 2000. Disponível em: <<http://www.senado.org.br>>. Acesso em: 21/8/2012.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems of land resources assessment**. Francis e Taylor, 1986. 185 p.

COELHO, F. F. **Comparação de métodos de mapeamento digital de solos através de variáveis geomorfométricas e sistemas de informações geográficas**. Porto Alegre, 2010, 80 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

CORRÊA, G.F. **Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do Planalto de Viçosa, MG**. Viçosa, 1984, 86 fl. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984.

EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. EMBRAPA - SNLCS/SUDESUL/ISPAR, 1984.

EMBRAPA. **Mapa de solos do Paraná**: Legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Florestas: Embrapa Solos: Instituto Agrônomo do Paraná, 2008.

GALANTE, M. L.V.; BESERRA, M. M. L.; MENEZES, E. O. **Roteiro metodológico de planejamento**: Parque Nacional, Reserva Biológica e Estação Ecológica. MMA / IBAMA, Edições IBAMA, 2002. Disponível em: www.ibama.gov.br. Acesso em: 20/08/2006.

GALLANT, J. C.; WILSON, J. P. Primary topographic attributes. In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (Eds.). **Terrain Analysis**: Principles and applications. New York: John Wiley, 2000.

GONÇALVES, A. R.; FERNANDES, C. H. V.; PENTEADO, D.; VELOSO, V. **Roteiro metodológico para a elaboração de plano de manejo para florestas nacionais**. Brasília: ICMBio, 2009.

GRUBER, S.; PECKHAM, S. Land-surface parameters and objects in hydrology. In: HENGL, T.; REUTER, H.I. (Eds.). **Geomorphometry - Concepts, Software, Applications**. Amsterdam: Elsevier, 2009.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. da. **Geomorfologia uma Atualização de Bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1994.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual Técnico de Pedologia**. Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 4, Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

IPPOLITI, R. G. A.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; GAGGERO, M. R.; SOUZA, E. Análise digital de terreno: Ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de “mar de morros” (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 269-276, 2005.

KLINGEBIEL, A. A.; HORVARTH, E. H.; MOORE, D. G.; REYBOLD, W. U. **Use of slope, aspect, and elevation maps derived from digital elevation model data in making soil surveys**. Madison: Soil Science Society of America, 1987. (SSSA, Special Publication, 20).

LEPCH, I. F. (Coord.). **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação, 2ª. Imp. rev. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1991.

LIN, H.S.; KOGELMANN, W.; WALKER, C.; BRUNS, M.A. Soil moisture patterns in a forested catchment: A hydropedological perspective. **Geoderma**, v. 131, p. 345-368, 2006.

MANSOR, M.T.C.; FERREIRA, L.; ROSTON, D.M.; TEIXEIRA FILHO J. Parâmetro para avaliação do potencial de risco de erosão. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, I., 2002. **Anais...** Aracaju/SE, 17 e 18 de outubro de 2002.

MAZZA, C. A. da S. **Caracterização da paisagem da Microregião Colonial de Irati e zoneamento da Floresta Nacional de Irati, PR**. São Carlos: UFSCar, 2006, 147p.

MCKENZIE, N. J.; GALLANT, J. C. Digital soil mapping with improved environmental predictors and models of pedogenesis. **Developments in Soil Science**, v. 31, 2007.

MCKERGOW, L.A.; GALLANT, J.C.; DOWLING, T.I. **Modelling wetland extent using terrain indices, Lake Taupo, NZ**. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON MODELLING AND SIMULATION, Christchurch, 10-14 December 2007.

MILANO, M. S. Planejamento em unidades de conservação: um meio e não um fim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, Curitiba: IAP. **Anais...** v.1, p.150-165, 1997.

MONTGOMERY, D. R. Predicting landscape-scale erosion using digital elevation models. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 335, p. 1121-1130, 2003.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R.B.; LADSON, A. R. **Digital terrain modeling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications, hydrological processes**, v. 5, p. 3-30, 1991.

NOWATZKI, A. **A utilização de atributos topográficos no mapeamento preliminar de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno, Antonina/PR.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós Graduação de Geografia da UFPR, Curitiba, 2012.

PRATES, V. **Utilização de índices para representação da paisagem como apoio para levantamento pedológicos em ambiente de geoprocessamento.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2010.

SAGA. **System for Automated Geoscientific Analyses**, Version: 2.0.2. 2005. Disponível em: <http://www.saga-gis.org>. Acesso em: 13/7/2012.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SILVEIRA, C. T. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos:** Integração de atributos topográficos em Sistemas de Informações Geográficas e redes neurais artificiais. Curitiba, 2010, 153 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, 2010.

SIRTOLI, A. E. et al. Atributos de relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. **Scientia Agrária**, Curitiba, v.9, n.3, p. 317-329, 2008.

UFPR. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. **O solo no meio ambiente:** abordagem para professores do ensino fundamental e médio. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola: Curitiba Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2007.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA:** guia de utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: INPE, 2008.

WEBER, E. J.; HASENACK, H.O Uso do SIG no Ensino de Ciências Ambientais. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA, V., 1999, Salvador/BA. **Anais...** Salvador/BA, 1999.

(Recebido em 12.06.2013. Aceito em 06.12.2013)