

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA FLORESTAL
CÂMPUS DOIS VIZINHOS**

KAMILLE MIRANDA KUNTZ

**MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS POR MEIO DE ÍNDICES
DE RELEVO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO LONTRA, PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

**DOIS VIZINHOS
2017**

KAMILLE MIRANDA KUNTZ

**MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS POR MEIO DE ÍNDICES
DE RELEVO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO LONTRA, PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal, da Coordenação de Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Jairo Calderari Junior.

DOIS VIZINHOS

2017

K96m Kuntz, Kamille Miranda.
Mapeamento digital de solos por meio de índices de relevo na Bacia Hidrográfica do Rio do Lontra - PR / Kamille Miranda Kuntz – Dois Vizinhos, 2017. 48f.:il.

Orientador: Dr. Jairo Calderari Junior
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal, Dois Vizinhos, 2017
Bibliografia p. 40-43

1. Mapeamento do solo 2. Mapeamento digital Bacias hidrográficas – Manejo I. Calderari Junior, Jairo, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dois Vizinhos III. Título

CDD: 631.4



TERMO DE APROVAÇÃO

Título: Mapeamento Digital de Solos por meio de Índices de Relevância na
Bacia Hidrográfica do Rio do Lontra por

Kamille Miranda Kuntz

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 08 de Junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jairo Calderari de Oliveira Junior
Orientador

Prof. Dr. Carlos Alberto Casali
Membro titular (UTFPR)

Prof. Dr. André Pellegrini
Membro titular (UTFPR)

Prof. Dr. Raoni Bosquilia
Membro titular (UTFPR)

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

RESUMO

KUNTZ, Kamille.M. **Mapeamento Digital de solos por meio de índices de relevo na Bacia Hidrográfica do Rio do Lontra**. 2017. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2017.

Mapas de solos com elevado nível de detalhamento e precisão, tanto para o Brasil como para o estado do Paraná, são escassos devido ao elevado custo, tempo e técnicos treinados para sua confecção, resultando na falta de informação sobre as características dos solos. Com o surgimento do mapeamento digital de solos e a disseminação dessa nova metodologia, os levantamentos passaram a fornecer informações de maior qualidade, precisão e detalhamento para diversas finalidades. Com mais informações e de maior qualidade sobre este recurso de extrema relevância para diversas políticas (desenvolvimento agrícola, conservação do solo e da água, diversificação de produção, etc.) podem ser elaboradas com maior segurança. O estudo tem como objetivo realizar o mapeamento digital de solos por meio de índices de representação do relevo e identificação das classes de solos e seus limites, fornecendo subsídios para o manejo da Bacia Hidrográfica do Rio do Lontra. A metodologia consiste na realização das seguintes etapas: 1) obtenção e organização da base de dados; 2) geração dos índices geomorfométricos; 3) geração do mapa com legenda preliminar; 4) verificação a campo utilizando a legenda preliminar e coleta de solos; 5) análises laboratoriais dos atributos do solo; 6) geração do mapa de classes de solos. O estudo mostrou que os índices de representação do relevo são efetivos na predição das classes de solos e seus limites, o Gleissolo Háplico foi melhor caracterizado pelos índices TWI (12,52) e CNBL (0,8m), o índice MRVBF foi bastante representativo para todas as classes estudadas, sendo recomendado para outros levantamentos. As classes de solo observadas na bacia do rio Lontra foram Nitossolo Vermelho, representando 62% da área estudada, seguido de Neossolo Regolítico com 29,6%, Gleissolo Háplico 5,3% e por fim Latossolo Vermelho com apenas 2,4%. O Nitossolo Vermelho e Neossolo Regolítico, juntos representam mais de 90% da área, deve se tomar atenção aos neossolos, estes podem ser utilizados desde que com muita atenção, utilizando sistemas de manejos mais complexos, seguindo a linha conservacionistas. O mapa de classes de solos gerado fornece informações para tomada de decisão de gestores públicos quanto a áreas prioritárias de conservação de solos e preservação ambiental e condições para o manejo adequado de propriedades rurais.

Palavras-chave: mapeamento digital de solos, índices de representação do relevo, atributos do solo, pedometria, geotecnologias.

ABSTRACT

KUNTZ, Kamille.M. **Digital mapping of soils by means of relief indices in the Lontrabasin.** 2017. 47f. Work of Conclusion Course (Graduation in Forest Engineer) – Federal Technology University Paraná. DoisVizinhos, 2017.

Soil maps with high level of detail and precision, both for Brasil and the state of Parana, are scarce due to the high cost, time and trained technicians to make them, resulting in a lack of information about this natural resource. The emergence of digital soil mapping and the dissemination of this new methodology, the surveys began to provide information of higher quality, accuracy and detail for various purposes. With more information and greater quality on this resource of extreme relevance for various policies (agricultural development, soil and water conservation, diversification of production, etc.) can be elaborated with greater security. The objective of this study is to perform the digital mapping of soils by means of representation indices of relief and identification of soil classes and their limits, providing subsidies for the management of Lontrabasin. The methodology consists of the following steps: 1) acquisition and organizing the database; 2) generation of geomorphometric indices; 3) map generation with preliminary legend; 4) field verification using the preliminary legend and soil attributes; 5) laboratory analysis of soil; 6) map generation of soil classes. The study showed that the indices of relief representation are effective in the prediction of soil classes and their limits, HáplicoGleysol was better characterized by the TWI (12.52) and CNBL (0.8m) indexes, the MRVBF index was quite representative. For all classes studied, being recommended for other surveys. The soil classes observed in the Lontrabasin were Red NitisolVermelho, representing 62% of the studied area, followed by RegolithicNeosol with 29.6%, GleissoloHapl 5.3% and finally Red Latosol with only 2.4%. The Red Nitosol and the Neolithic Regolith together represent more than 90% of the area, they are problematic and can be used with great care, using very well designed management systems. The soil class map generated provides information for decision-making by public managers regarding priority areas of soil conservation and environmental preservation and conditions for the proper management of rural properties.

Key-words: digital mapping of soils, indices of relief representation, soil characteristics, pedometry, geotechnologies.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1 O SOLO E SUA FORMAÇÃO	10
3.2 CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS	11
3.3 TIPOS DE MAPEAMENTOS DE SOLOS CONVENCIONAL <i>VS</i> DIGITAL	11
3.4 PEDOMETRIA E ÍNDICES DE REPRESENTAÇÃO DO RELEVO	12
4 METODOLOGIA	16
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
4.2 LEVANTAMENTO DE SOLOS	18
4.2.1 Legenda preliminar	18
4.2.2 Validação das Unidades de Mapeamento	19
4.2.3 Mapa de classificação de solos	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
5.1 ÍNDICES DE REPRESENTAÇÃO DE RELEVO	21
5.2 MORFOLOGIA	30
5.3 ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO	33
5.4 MAPA DE CLASSES DE SOLOS	38
6 CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
APÊNDICES	45

1 INTRODUÇÃO

Mapas de solos são de extrema importância para o conhecimento da distribuição e características deste recurso natural tão importante para o desenvolvimento da vida. O registro dessas informações ajuda no planejamento e desenvolvimento das atividades humanas, além de instigar a população a uma reflexão de como o solo tem sido explorado, de seu uso intensivo e consequente degradação. Ao mesmo tempo, podem ser levantadas alternativas para o uso sustentável, buscando conservar as características naturais dos solos e atenuando a pressão antrópica sobre os mesmos.

O Brasil é um país de grande extensão, mapear uma área tão grande com um nível de detalhamento capaz de obter informações das classes e atributos de solos demanda muito tempo e torna-se oneroso, por isso as informações sobre os solos ainda são muito escassas. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2013) as informações sobre os solos disponíveis são o mapa de solos do Brasil em escala 1:5.000.000 (EMBRAPA, 2011) e as cartas pedológicas do Projeto RADAM Brasil em escala 1:1.000.000, que abrangem grande parte do país. Esses levantamentos a nível exploratório identificam o potencial de áreas para o desenvolvimento regional e são realizados para grandes extensões de área, com uma baixa intensidade amostral.

No estado do Paraná, o mapa de solos criado pela EMBRAPA em escala de 1:600.000, foi elaborado a nível de reconhecimento. Esses tipos de levantamentos trabalham com análises qualitativas e semiquantitativas e tem finalidade de avaliar o uso agrícola e não agrícola das grandes regiões (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2007). Tem-se pouca informação sobre as classes de solos da região sudoeste do Paraná a nível de propriedade, portanto, a maioria dos trabalhos na região baseiam-se no mapa de solos do Paraná para classificação. Porém, uma “mancha” de solo necessita ser maior do que 1.440 hectares para que a mesma seja representada neste mapa (IBGE, 2016). Percebe-se então que em nível de propriedade rural, as informações contidas nesses mapas disponíveis não são adequadas, fazendo-se necessário levantar informações em nível de semidetalhe.

Buscando alternativas para questão de escassez de mapas de solos a níveis de detalhamento capazes de obter informações das classes e atributos de solos e afim de facilitar o mapeamento, em relação aos métodos tradicionais, ocorreu o surgimento do Mapeamento Digital de Solos (MDS). O método baseia-se nos fatores e processos de formação de Jenny

(1941), a saber: clima, relevo, tempo, rocha de origem e organismos. Estes fatores entram nas equações do MDS como variáveis (MENDONÇA-SANTOS et al., 2010), além disso é capaz de minimizar erros causados pela subjetividade na interpretação da informação, diminuir o trabalho a campo e consegue de fornecer mapas com maior nível de detalhamento e precisão. Assim, o MDS fornece subsídios para agricultura e silvicultura em questões como manejo adequado das propriedades, zoneamento das propriedades, usos e limitações dos solos, avaliação de propriedades rurais e ações de conservação dos solos.

O MDS é baseado nos fatores de formação já que as variações de solos ocorrem em função deles, porém quando se estuda uma região menor, os fatores de formação são homogêneos, exceto o relevo que é passível de alteração. Essa questão se torna relevante principalmente quando trata-se da região sudoeste do Paraná, que apresenta relevo bastante ondulado em que as variações de solo ocorrem a curtas distâncias, não sendo dessa forma contemplado nas escalas dos mapas de solos disponíveis, mas sem variar o material de origem e o clima.

Diante do exposto, percebe-se a necessidade gerar informações em escalas compatíveis com propriedades rurais, reduzindo os custos de trabalho por meio de técnicas mais eficientes, aumentando o nível de detalhamento e atenuando a subjetividade nos mapas gerados. Para tanto o MDS por meio de algumas ferramentas, como os índices de representação do relevo, permite mapas mais baratos e precisos, subsidiando a tomada de decisão para propriedades ou para o manejo de bacias hidrográficas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o mapeamento digital de solos por meio de índices de representação do relevo e identificar das classes de solos e seus limites fornecendo subsídios para o manejo da bacia hidrográfica do rio do Lontra, sudoeste do Paraná.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as propriedades físicas, químicas e morfológicas do solo;
- Obter índices de representação de relevo, como o índice de umidade topográfica, índice de fundo de vale, declividade e comprimento de rampa, altitude em relação ao canal de drenagem e índice de topos planos através do MDT (Modelo Digital de Terreno) oriundo do SRTM(*Shuttle Radar Topography Mission*);
- Aplicar os índices na predição das classes de solos e relacionar a influenciado nas variações dessas classes;
- Relacionar os índices de representação do relevo com os atributos físicos, químicos e morfológicos do solo.
- Definir áreas prioritárias para desenvolvimento de políticas agropecuárias e ambientais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O SOLO E SUA FORMAÇÃO

Por volta de 1883, o cientista russo Dokuchaev, considerado o pai da pedologia, descreveu o solo como um corpo natural, dinâmico, organizado e passível de “evolução” (LEPSCH, 2002). A partir disto, o solo passou a ser visto com dinamismo e não mais como material inerte, que evolui e se transforma ao longo do tempo, de acordo com as interferências das condições do ambiente (COELHO, 2010).

Dokuchaev, continuando os estudos sobre o solo, notou que as variações do mesmo são resultados da interação entre alguns fatores, denominados então de “fatores de formação do solo” ou “fatores pedogenéticos” (LEPSCH, 2011), a saber: material de origem, clima, organismos, tempo e relevo. Jenny (1941), partindo do preceito que, ao conhecermos os fatores de formação e ao isolarmos cada um, seria possível predizer a formação do solo, postulou a seguinte equação:

$$S = f(cl, o, r, p, t) \quad \text{Eq.1.}$$

Conforme o modelo, o solo formado (*s*) é consequência da interação dos outros fatores, clima (*cl*), organismos (*o*), relevo (*r*), material de origem (*p*) e tempo (*t*).

Porém, esse modelo visava determinar de forma quantitativa as propriedades dos solos, mas sem prever sua distribuição espacial. Dessa forma surgiu o modelo SCORPAN, como uma evolução do modelo CLORPT de Jenny, considerando a relação de alguns atributos já conhecidos do solo, os cinco fatores de formação e sua localização na terra, a fim de usar para descrição da variabilidade espacial e mapeamento (MCBRATNEY; MENDONÇA-SANTOS e MINASNY, 2003).

O modelo SCORPAN classifica os solos e seus atributos de acordo com sete fatores: (*s*) alguns atributos já conhecidos do próprio solo, (*c*) o clima, (*o*) organismos, (*r*) relevo, (*p*) material de origem, (*a*) tempo, (*n*) coordenadas geográficas. O qual podemos escrever:

$$\text{Solo} = f(s, c, o, r, p, a, n) \text{Eq.2.}$$

Com a inserção da posição espacial no modelo, passou-se a considerar a variabilidade dos atributos ao longo do terreno por meio das coordenadas geográficas, o que

deu condição para o desenvolvimento do mapeamento digital, ressurgindo a utilização de mapas e cartas topográficas existentes. Desde então, a hipótese de que as modificações nas formas do relevo causam variações nos atributos do solo e mostram que os processos de formação ocorrem de forma diferenciada de acordo com cada local específico da paisagem, passou a ser considerada (COELHO, 2010; MENDONÇA-SANTOS e TEN-CATEN, 2015).

3.2 CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS

A classificação de solos é de fundamental importância para se conhecer as características e variações dos solos. Desde muito tempo os levantamentos pedológicos têm sido realizados pela EMBRAPA no território nacional e para facilitar o acesso e a organização das informações geradas foi que em 1999 houve a criação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), que classifica os solos de acordo com suas características genéticas, morfológicas, físicas e químicas (EMBRAPA, 1999; COELHO, 2010 e ANJOS et al., 2012).

Segundo IBGE (2007), a classificação é feita em até quatro níveis categóricos, sendo esses, Ordem, Subordem, Grande Grupo e Subgrupo, de forma similar ao sistema de classificação utilizado nos Estados Unidos (*SoilTaxonomy*). Com o passar do tempo, ocorreram modificações e atualizações no SiBCS, sendo que a última dessas atualizações foi realizada em 2013 (SANTOS, 2013). Outra importante característica do SiBCS é que, para uma classe de solos constar no sistema, ela obrigatoriamente tem que ser identificada em território brasileiro, ou seja, o sistema é adaptado para a nossa realidade.

3.3 TIPOS DE MAPEAMENTOS DE SOLOS CONVENCIONAL VS DIGITAL

Para Ippoliti-Ramiro et al. (2005) o método tradicional de levantamento de solos, utilizade análisespreliminares estereoscópicas de fotografias aéreas ou produtos do sensoriamento remoto da área a ser mapeada para o delineamento manual das unidades de solo-paisagem que, posteriormente, são constatadas no campo. As incursões a campo são realizadas para identificação, delimitação e descrição das unidades de mapeamento, estas são identificadas com o nome de uma classe de solos, de acordo com o sistema de classificação.

Também a campo são feitas observações da relação dos solos com a geologia, cobertura vegetal, drenagem, topografia e declividade (BAZAGLIA-FILHO, 2012). O fato é que, ao realizar esse delineamento manual, cada profissional faz à sua maneira, lançando mão da sua experiência e aplicação do modelo que o mesmo tem em mente, motivo pelo qual se observa grande subjetividade nos trabalhos de levantamento tradicional.

O mapeamento digital de solos, segundo Lagacheire e McBratney (2007), baseia-se na geração de sistemas de informações que permitam estabelecer relações matemáticas e estatísticas entre variáveis ambientais e classes de solos. Desta maneira é possível prever a distribuição espacial das classes de solos e fornecer levantamentos com maior precisão e de forma a reduzir a subjetividade causada pelo delineamento manual, com informações de maior qualidade e permitindo avaliar incertezas inerentes a amostragem.

A análise digital do terreno, base para o mapeamento digital introduz algumas vantagens em relação ao método tradicional. É uma alternativa rápida e econômica que pode ser aplicada para a quantificação e classificação do relevo, permitindo a definição automática ou semi-automática das unidades morfológicas da paisagem com maior confiabilidade e precisão, solucionando muitos problemas encontrados no mapeamento convencional, sobretudo a subjetividade (IPPOLITI-RAMIRO et al., 2005).

3.4 PEDOMETRIA E ÍNDICES DE REPRESENTAÇÃO DO RELEVO

A frequente necessidade de dados espaciais relacionados aos solos com maior precisão e confiabilidade, tem inserido no processo de mapeamento de solos a chamada “modelagem quantitativa”. Nesse cenário, um novo termo ganha destaque dentro da Ciência do Solo, a Pedometria (Figura1).

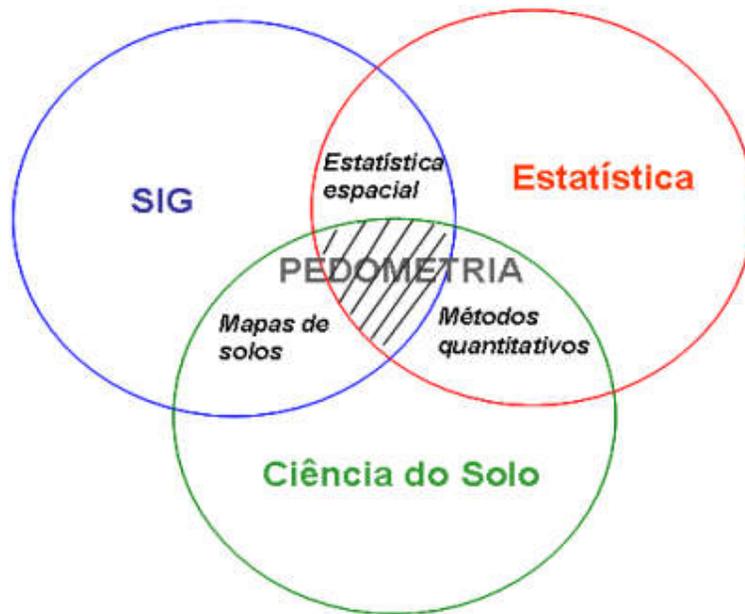


Figura 1– Pedometria quanto a outras ciências

Fonte: Adaptado de Hengl (2003).

Segundo Hengl (2003) a pedometria apresenta-se como um ramo interdisciplinar para o estudo quantitativo do solo e envolve três grandes campos da ciência, geoprocessamento, estatística e ciência do solo e possui diversas aplicações.

Para observação da variação espacial dos solos são utilizados dados quantitativos. Dentre os fatores de formação dos solos, o relevo nos dá essa possibilidade de ser quantificado e apresenta maior correlação com a variação de solos em escala regional. A quantificação é feita por meio de um Modelo Digital de Terreno (MDT) que, segundo Burrough (1986), é a representação matemática da distribuição espacial de um fenômeno vinculado a uma superfície real. O MDT pode ser obtido através de imagens com dimensões regulares, em que cada elemento (pixel) possui um valor referente a altitude, ou por meio de equações analíticas ou ainda na forma de uma rede de pontos que apresenta elevação conhecida. Com o MDT pode ser calculado volume, área, perfis, gerar mapas de declividade, entre outras funcionalidades.

No mapeamento de solos, os MDT são gerenciados visando a otimização do processo, utilizando para tanto algumas ferramentas, como os sistemas de informações geográficas (SIG), e a geoestatística. Para Bazaglia-Filho (2012), mesmo que a metodologia seja considerada uma inovação, ela é pautada na equação dos fatores de formação do solo

proposta por Jenny (1941), ou seja, um paradigma (modelo) utilizado por vários autores ao longo de vários anos, a fim de entender como se dá a variação dos atributos do solo.

A partir do MDT, podem ser gerados índices de representação do relevo, ferramentas fundamentais para o MDS, pela capacidade de mensuração de informações pedológicas e geomorfológicas (MAGANHOTTO et al., 2013). Tais informações são utilizadas na segmentação da paisagem em ambientes mais homogêneos sob o ponto de vista pedológico. Chagas (2006) comenta que alguns estudos têm sugerido que os dados de sensores remotos devem ser complementados com informações do terreno para corrigir as distorções que surgem das variações topográficas da paisagem, ou seja, os recursos computacionais não extinguem a necessidade do trabalho de campo, principalmente para validar os modelos idealizados no escritório/laboratório.

Segundo Pinheiro (2015), o mapeamento de solos a partir do processamento dos índices de representação do relevo traz novas possibilidades quanto a quantificação de atributos para análise e observação das relações solo-paisagem. Além disso, essa prática auxilia no estudo da variabilidade espacial das propriedades do solo, possibilitando ainda o conhecimento dos erros dos modelos preditivos e da acurácia dos produtos finais. Esses índices podem ser definidos como:

- Índice Topográfico de Umidade (ITW) – este índice foi definido por Chagas (2006) em função da declividade e da área de contribuição por unidade de largura ortogonal à direção do fluxo, ou seja, o tamanho da superfície que está captando água da chuva e direcionando esse volume ao ponto calculado. Assim, esse índice descreve a tendência de uma célula acumular água. Maiores valores de TWI indicam maior tendência de acumular água (MAGANHOTTO et al., 2013). Chagas (2006) identificou, para os solos bem drenados, índices de umidade variando de 4 a 5, geralmente topos de morros, e para solos mal drenados com caráter hidromórfico valores entre 5 e 10. O índice é utilizado na identificação de Gleissolos que ocorrem em áreas planas.
- Índice de Fundos de Vale Plano (*Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness - MRVBF*) –Manganhotto et al. (2013) define que este índice, além de identificar os fundos de vales planos, mede o potencial de erosão da área. Dessa forma, é possível distinguir os fundos de vale (áreas de deposição) de encostas (áreas de erosão), combinando diferentes paisagens em um único índice. Araújo; Mineiro e

Cantalice(2011) também verificaram que valores altos para esse índice representam que a área em questão é contribuinte do processo de transporte e deposição de sedimentos.

- O Fator LS representa o efeito da topografia sobre a erosão. O fator L representa a relação de perdas de solos em função do comprimento de rampa, uma vez que quanto maior o comprimento, maior será a energia que a água em superfície alcançará e maior seu poder erosivo. O fator S trata da relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9%, sendo apresentada uma equação para possíveis ajustes às características locais (MAGANHOTTO et al., 2013; COUTINHO et al., 2014). É um fator difícil de ser calculado, portanto, é obtido através de *softwares*.
- Índice de Topos Planos (*Multiresolution Index ofRidge Top Flatness – MRRTF*) - quantifica o quão plano é o topo de uma encosta, o que favorece a formação de solos profundos, a mecanização e drenagem da área, porém tendem a ser menos férteis (OLAYA E CONRAD, 2008).
- Altitude em Relação ao Canal de Drenagem (*Altitude AboveChannel Network – AACN*) - para Maganhottoet al. (2013) este índice representa a distância vertical da célula em questão em relação à célula (ou pixel) mais próxima localizada na rede de drenagem. Quando apresenta valores menores, quer dizer que o lençol freático está mais próximo da superfície, caracterizando áreas de deposição e para valores maiores de altitude (encostas), o lençol freático está mais distante da superfície, possíveis áreas de erosão.

A utilização desses índices tem sido mencionada em diversos trabalhos em que os autores utilizaram as informações pedológicas para o mapeamento digital de solos, como Maganhottoet al. (2013) que estudou a aplicação dos índices para o planejamento, gestão e manejo de unidades de conservação. Chagas (2006) avaliou a utilização de atributos do terreno e dados de sensores remotos, em uma abordagem por redes neurais, para a predição de classes de solos em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros. Outros estudos de comparação de métodos de mapeamento digital de solos, através de índices de representação do relevo foram realizados por Coelho (2010) e Sirtoli (2008) utilizando redes neurais.

4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do Rio Lontra, afluente do Rio Iguçu localizada na cidade de Salto do Lontra, sudoeste do Estado do Paraná (Figura 3). O Rio Lontra é importante para o abastecimento da região e sua bacia abrange uma área de aproximadamente 45 km² (SOUZA et. al., 2013).

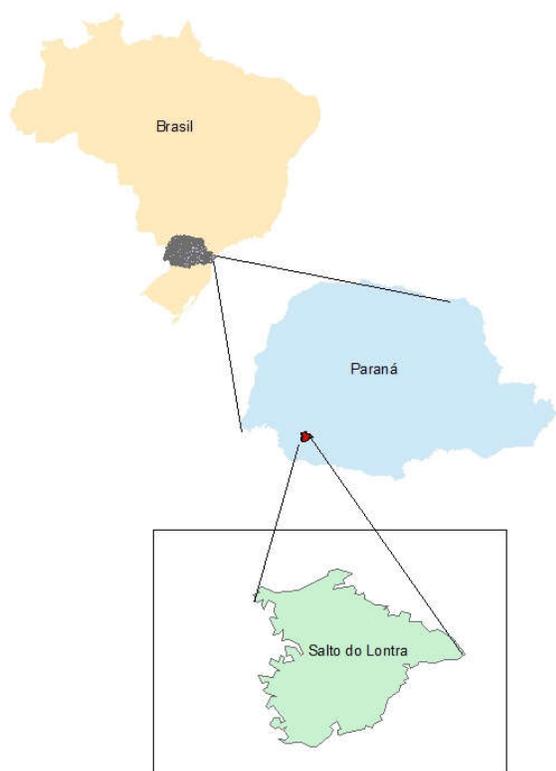


Figura 2–Mapa de localização do município de Salto do Lontra-Pr.

Fonte: O autor (2016).

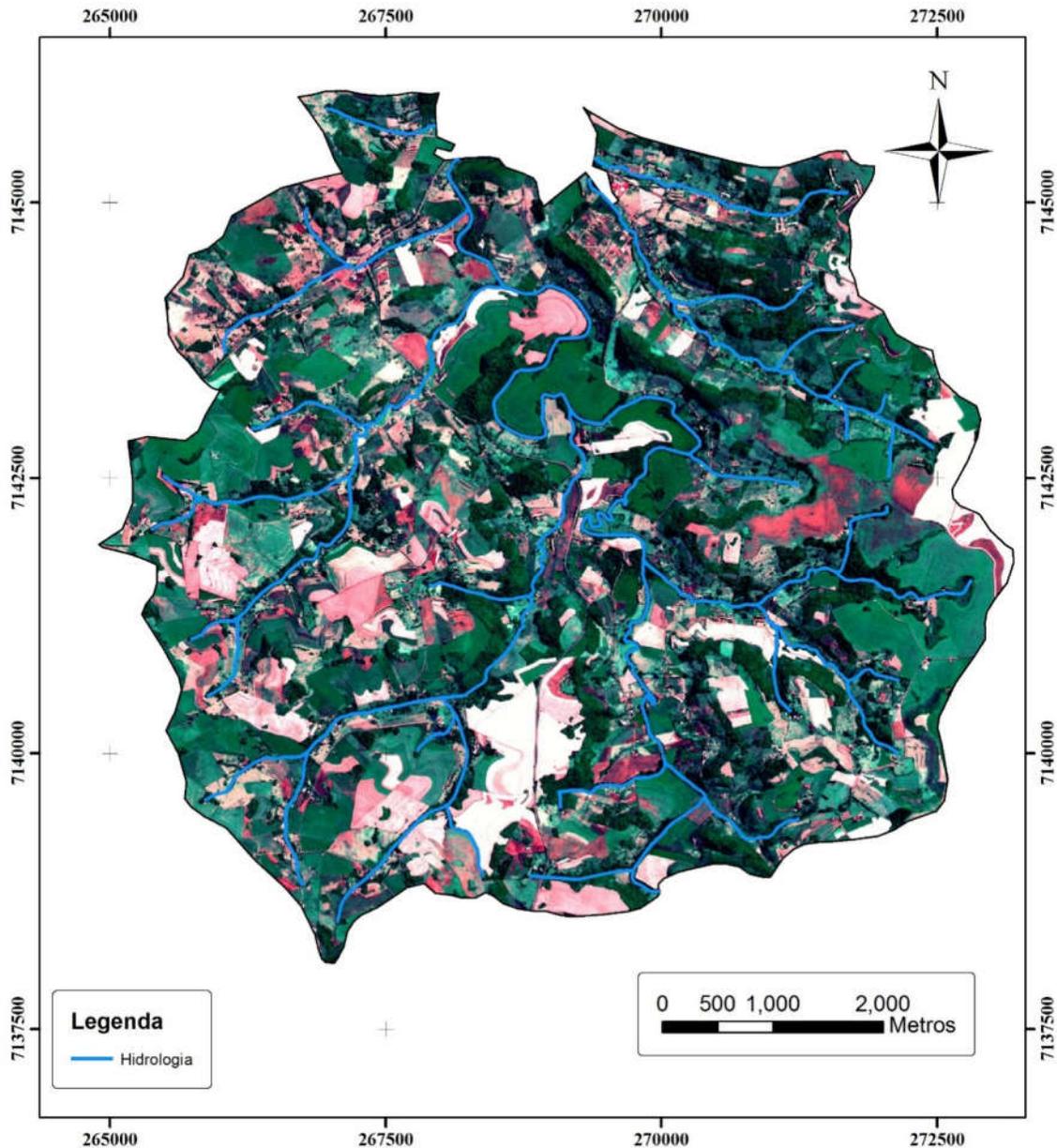


Figura 3—Área da Bacia Hidrográfica do Rio do Lontra localizada no sudoeste do Paraná.

Fonte: Embrapa/Os autores. (2003).

O Município de Salto do Lontra possui uma área de 313 km², situado na região sudoeste do Paraná (Figura 4), com altitude média de 450 metros acima do nível do mar, localizada nas coordenadas geográficas latitude 22°47'02''S e longitude 53°18'32''W e pertence à microrregião de Francisco Beltrão e Pato Branco (n° 41027) inserido, por sua vez, na mesorregião do sudoeste do Terceiro Planalto Paranaense. (IBGE, 2015).

O clima do município caracteriza-se segundo a classificação de Köppen como Cfa indicando clima subtropical com temperatura média no mês mais frio de 18°C e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração de chuvas nos meses mais quentes e pluviosidade média anual de 1917mm, sem estação seca definida (Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR, 1994).

4.2 LEVANTAMENTO DE SOLOS

O trabalho foi realizado em etapas, sendo elas: 1) obtenção e organização da base de dados; 2) geração dos índices geomorfométricos; 3) geração do mapa com legenda preliminar; 4) verificação a campo utilizando a legenda preliminar e coleta de solos; 5) análises laboratoriais dos atributos do solo; 6) geração do mapa de classes de solos, como pode ser observado na Figura 5.



Figura 4—Fluxograma das atividades a serem desenvolvidas.

Fonte: O autor (2016).

4.2.1 Legenda preliminar

Primeiramente foi realizada a aquisição das imagens, gratuitas, da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission* - <http://earthexplorer.usgs.gov/>) apresentando resolução espacial de 30 metros, em que cada pixel da imagem georreferenciada leva a cota altimétrica do local, formando o MDT. Os dados foram inseridos no *software* livre SAGA (versão 2.0)

para obtenção dos índices geomorfométricos que permitem a descrição quantitativa do relevo (MOORE et al., 1993).

Os índices utilizados foram: Índices Topográfico de Umidade (ITW), Índice de Fundo de Vale plano (*Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness* - MRVBF), Declividade e Comprimento de Rampa (*LossSoil* - LS) e Índice de Topos Planos (*Multiresolution Index of Ridge Top Flatness*- MRRTF), Altitude em Relação ao Canal de Drenagem (*Altitude Above Channel Network* – AACN).

4.2.2 Validação das Unidades de Mapeamento

As áreas identificadas na legenda preliminar foram visitadas a campo e seus limites verificados de acordo com a amostragem realizada com o trado holandês, cortes de barrancos e trincheiras. Em cortes de barranco e trincheiras, foi realizada a separação dos horizontes e descrição morfológica segundo Santos (2005), procedendo a coleta de amostras deformadas para análises de laboratório. As amostras foram secas em estufa à 65°C por 48 horas e passadas em peneira com abertura de malha de 2 mm para obtenção da fração terra fina. Os atributos químicos analisados foram: pH em KCl 1 mol L⁻¹ 1:2,5 e pH em água 1:2,5; H+Al determinado pelo método de acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹ a pH 7; Al⁺³ trocável extraído com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinado por titulação com NaOH; K⁺ e Na⁺ extraídos com solução de Mehlich I e determinação em fotômetro de chama; carbono orgânico extraído com dicromato de potássio e titulado com sulfato ferroso (EMBRAPA, 2011). A granulometria foi determinada pelo método do densímetro, com as partículas separadas nas frações areia (2 – 0,05 mm de diâmetro), silte (0,05 – 0,002 mm de diâmetro) e argila (<0,002 mm de diâmetro).

4.2.3 Mapa de classificação de solos

Para identificação das classes de solos foram realizadas observações em topossequências, averiguando as variações dos atributos do solo da parte mais alta (divisor de águas) até a parte mais baixa da paisagem (curso d'água). A localização de cada ponto foi marcada com GPS de navegação pelo método de caminhamento para posterior comparação com as imagens dos índices geomorfométricos, a fim de estabelecer as relações solo vs paisagem.

A densidade de observações diz respeito ao número de exames visuais por área mapeada, por meio de tradagens ou verificações em cortes e barrancos, é definida em função do nível de detalhamento do mapa, escala, heterogeneidade da área e facilidade de correlação entre tipos de solos e relevo. A densidade preconizada pela EMBRAPA (1995) para levantamentos semidetalhados, varia entre 0,02 a 0,2 observações por hectare. Ao todo foram 130 pontos observados, dos quais 16 perfis, aproximadamente 10% do total de observações, foi realizada a coleta de solo para análise em laboratório, no restante dos perfis realizou-se a descrição morfológica segundo Santos (2005).

As informações da legenda preliminar (índices de relevo), observações da paisagem, características físicas, químicas e morfológicas do solo foram organizadas e analisadas para geração do produto final, mapa de classes de solos.

Os mapas foram gerados em escala 1:50.000, a nível de semidetalhe, com sistema de projeção UTM (Projeção Universal Transversa de Mercator). O *layout* do mapa foi efetuado proporcionando o máximo de entendimento por qualquer tipo de usuário. Utilizou-se a distribuição mais conveniente dos espaços para títulos, ano de publicação, instituições envolvidas, escalas, legendas de identificação, margens, procedência da base original, execução cartográfica, localização geográfica da área de trabalho, responsabilidade de impressão, convenções cartográficas e outras informações necessárias ao enriquecimento visual do mapa.

Segundo EMBRAPA (1995), é de grande valor informativo assinalar nos mapas de solos, os locais de coleta de todos os perfis completos, complementares e amostras extras, para correlação imediata de dados analíticos com áreas de solos e, principalmente, possibilitar a correlação entre padrões de imagens de sensores remotos e características de solos precisamente descritos, classificados e amostrados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ÍNDICES DE REPRESENTAÇÃO DE RELEVO

Os índices geomorfométricos obtidos através de cálculos realizados a partir do MDT no *software* SAGA (versão 2.0), foram comparados para cada classe de solo identificado no levantamento, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Índices de Representação do Relevo calculados para a bacia do rio do Lontra.

	IRR ¹	Cambissolo	Gleissolo	Latossolo	Neossolo	Nitossolo
LS_Factor ²	Média	1,29	0,68	1,12	2,67	1,07
	Desv.P	0,59	0,46	0,84	1,91	0,86
AACN ³	Média	501,38	500,75	509,34	489,01	498,09
	Desv.P	50,39	31,40	27,88	26,10	31,14
MRVBF ⁴	Média	0,55	2,21	1,23	0,46	1,09
	Desv.P	0,24	0,91	1,05	0,69	1,04
MRRTF ⁵	Média	0,18	0,01	0,08	0,17	0,30
	Desv.P	0,17	0,02	0,11	0,39	0,50
TWI ⁶	Média	7,09	12,52	9,59	7,29	8,02
	Desv.P	1,49	2,89	4,42	2,54	2,70
CNBL ⁷	Média	18,19	0,85	17,39	23,47	22,50
	Desv.P	17,36	0,74	9,71	19,55	22,28

Fonte: O autor, 2017.

Notas: IRR¹: Índices de Representação do Relevo; LS²: Fator perda de solo; AACN³: Altitude em Relação ao Canal de Drenagem; MRVBF⁴: Índice de fundos de vales planos; MRRTF⁵: Índice de topos planos; TWI⁶: Índice de umidade; CNBL⁷: Distância Vertical até o nível do canal de drenagem.

A classe dos Cambissolos apresentou Fator LS de 1,29 demonstrando baixo potencial erosivo, assim como as demais classes de solos estudadas, segundo Mansor et al. (2002). A AACN demonstra a altitude que o perfil se encontra em relação ao lençol freático, a classe dos Cambissolos apresentou 501 metros de altitude em relação ao nível médio do mar. O MRVBF obteve valor de 0,55 indicando que essa classe de solos aparece em regiões que a erosão é igual a pedogênese, pois Mckenzie e Gallant (2007) sugerem que valores menores do que 0,5 indicam área de forte processo erosivo. O TWI apresentou 7,07 indicando, segundo Lin et al. (2006), solos moderadamente drenados. A média da distância vertical em relação ao canal de drenagem CNBL foi de 18,2 metros nos Cambissolos, segundo Böhner et al. (2002), menores valores indicam que o lençol freático pode estar mais próximo da superfície, e valores altos indicam condições elevadas.

Os Gleissolos apresentaram valor de 500 m para o índice AACN, como essa classe frequentemente é encontrada em locais mais baixos e planos da paisagem apresentou MRVBF de 2,21 representando área de forte deposição, recebendo sedimentos e água das encostas adjacentes. Os resultados do TWI (12,52) corroboram com o descrito por Prates; Souza e Oliveira-Junior (2012), em que valores acima de 8 indicam solos saturados em água. Os Gleissolos que apresentam saturação por água ocorrem muito próximos ao lençol freático, fato que condiz com os resultados de CNBL para esta classe de solos de 0,8 metros.

Os perfis de Latossolos estudados apresentaram índice AACN de 509 metros e MRVBF de 1,23 não sendo encontrados em áreas de forte erosão. O TWI apresentou valor de 9,59 o que não foi condizente com o descrito por Lin et al. (2006), que identificou valores entre 7 e 12 para solos mal drenados, pois esta classe apresenta boa drenagem. O CNBL foi de 17,39 metros mostrando que esses solos são encontrados em áreas mais altas da paisagem.

Nos índices calculados para Neossolos, percebe-se que a altitude em relação ao canal de drenagem foi de 489 metros localizados em áreas de encostas. O valor para o MRVBF de 0,46 demonstra que a classe se localiza em áreas de forte erosão. O índice de umidade, demonstrou solos moderadamente drenados com valor de 7,29. Em relação ao CNBL 23,47 metros, os maiores valores deste índice observados nos Neossolos estão relacionados ao relevo da região, onde as áreas de topo são estreitas e com maior declividade do que as outras partes da paisagem.

Na classe dos Nitossolos, a AACN foi de 498 metros e o MRVBF foi de 1,09 não estando localizados em áreas de forte erosão. O TWI foi de 8,02 resultou em solos mal drenados, mesmo que os Nitossolos não possuam boa drenagem essa característica está atrelada à sua estrutura e propriedades físicas e não a sua posição na paisagem. O CNBL apresentou 22,5 metros de distância em relação ao lençol freático evidenciando que esse tipo solo ocorre em condições elevadas. Abaixo constam os mapas gerados com os índices calculados.

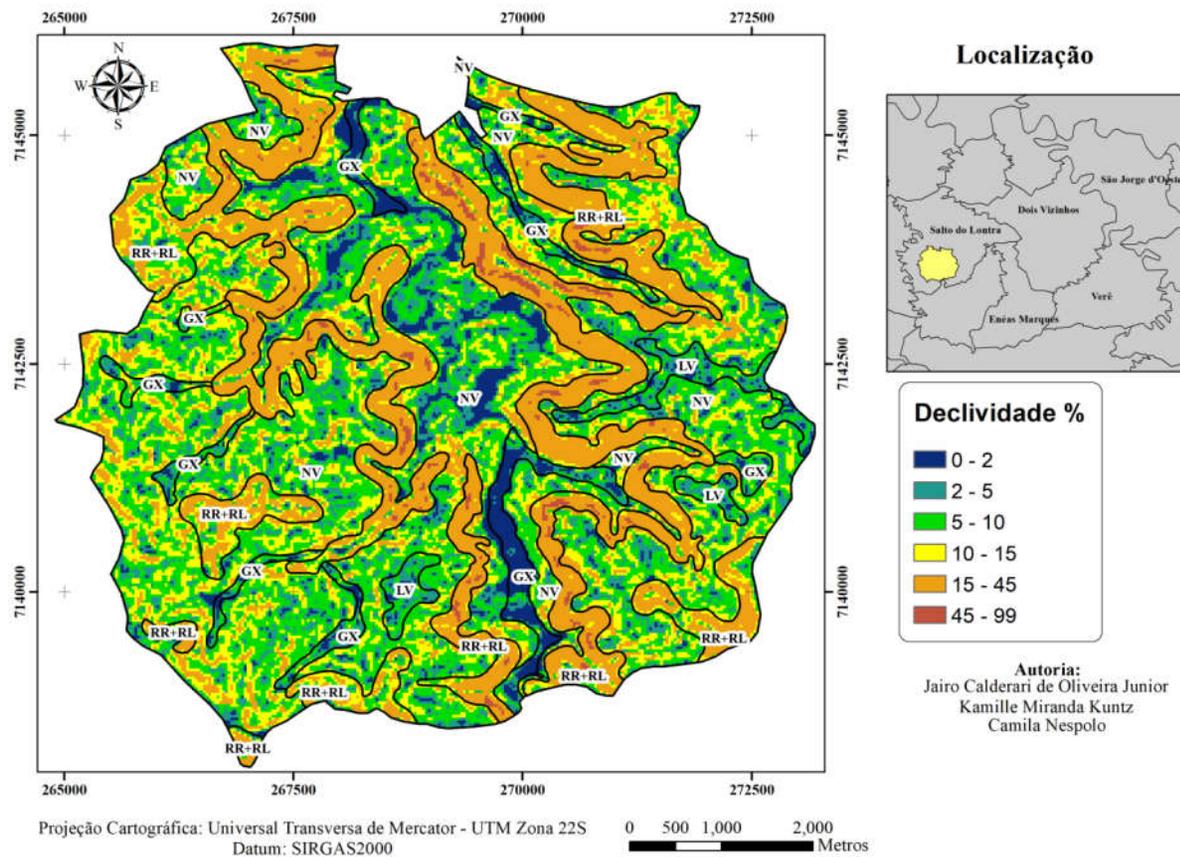


Figura 5 – Mapa de declividade da bacia do rio do Lontra no município de Salto do Lontra-Pr.

Fonte: OLIVEIRA-JUNIOR; KUNTZ e NESPOLO (2017).

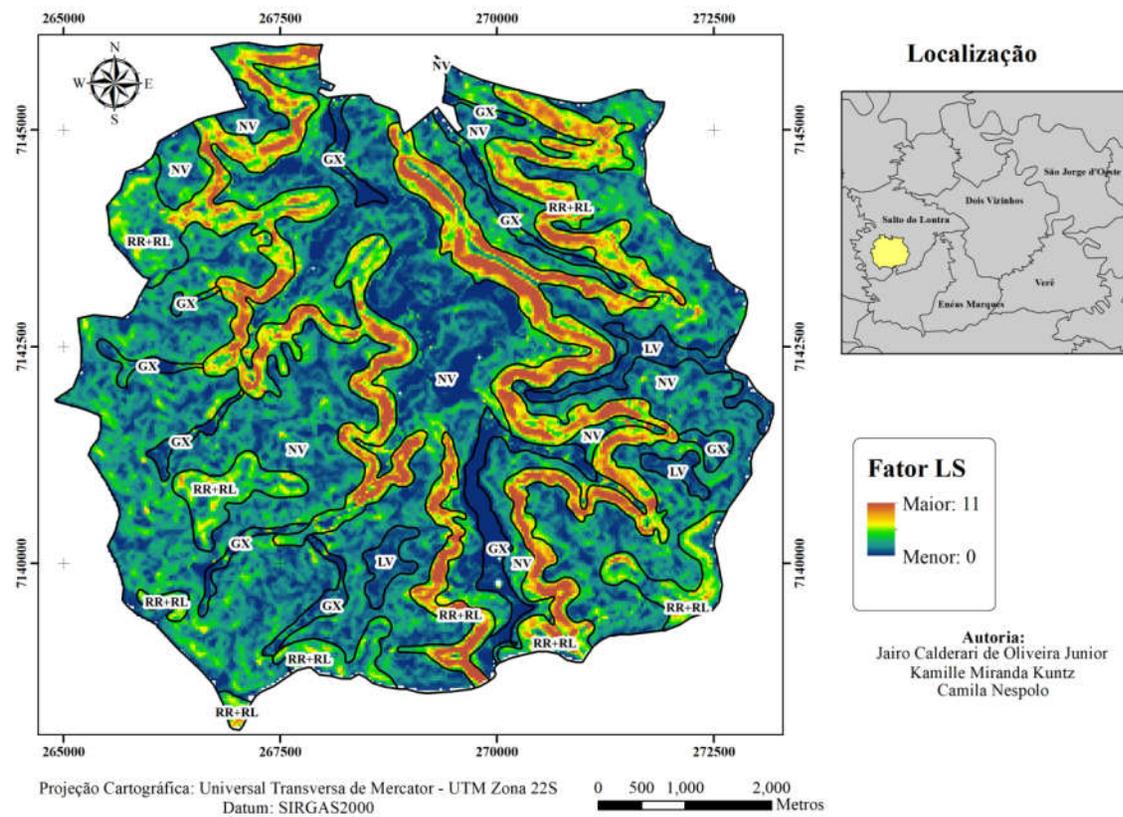


Figura 6 – Mapa do índice de perda de solo calculado para bacia do rio do Lontra no município de Salto do Lontra-Pr.

Fonte: OLIVEIRA-JUNIOR; KUNTZ e NESPOLO (2017).

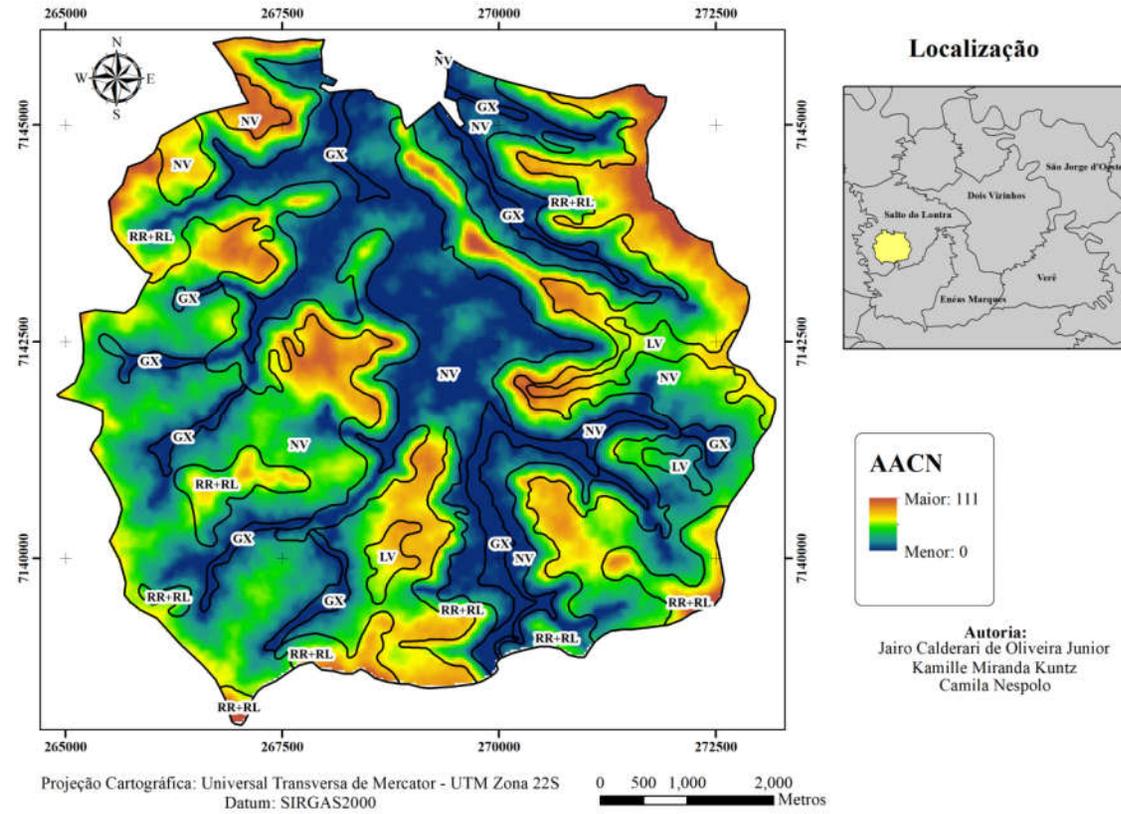


Figura 7 – Mapa da altitude em relação ao canal de drenagem calculado para bacia do rio do Lontra no município de Salto do Lontra-Pr.
 Fonte: OLIVEIRA-JUNIOR; KUNTZ e NESPOLO (2017).

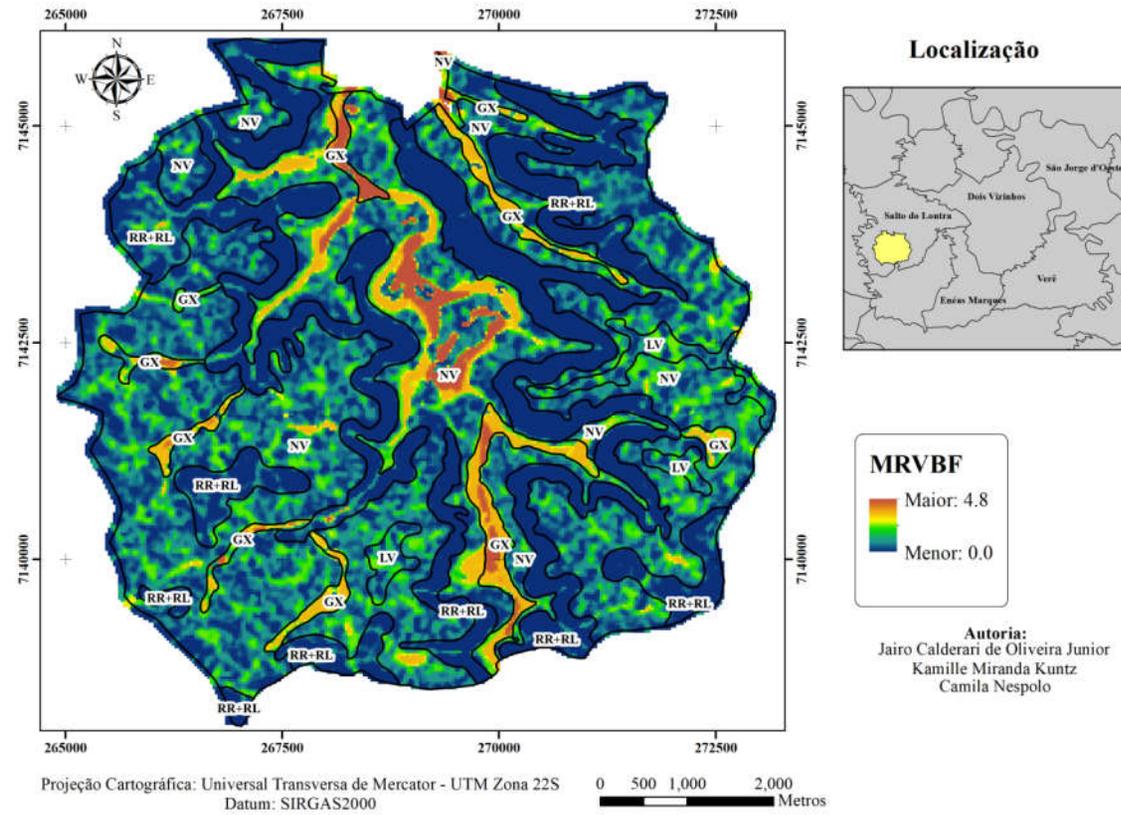


Figura 8 – Mapa do índice que determina áreas de erosão e acumulação na paisagem calculado para bacia do rio do Lontra no município de Salto do Lontra-Pr.
Fonte: OLIVEIRA-JUNIOR; KUNTZ e NESPOLO (2017).

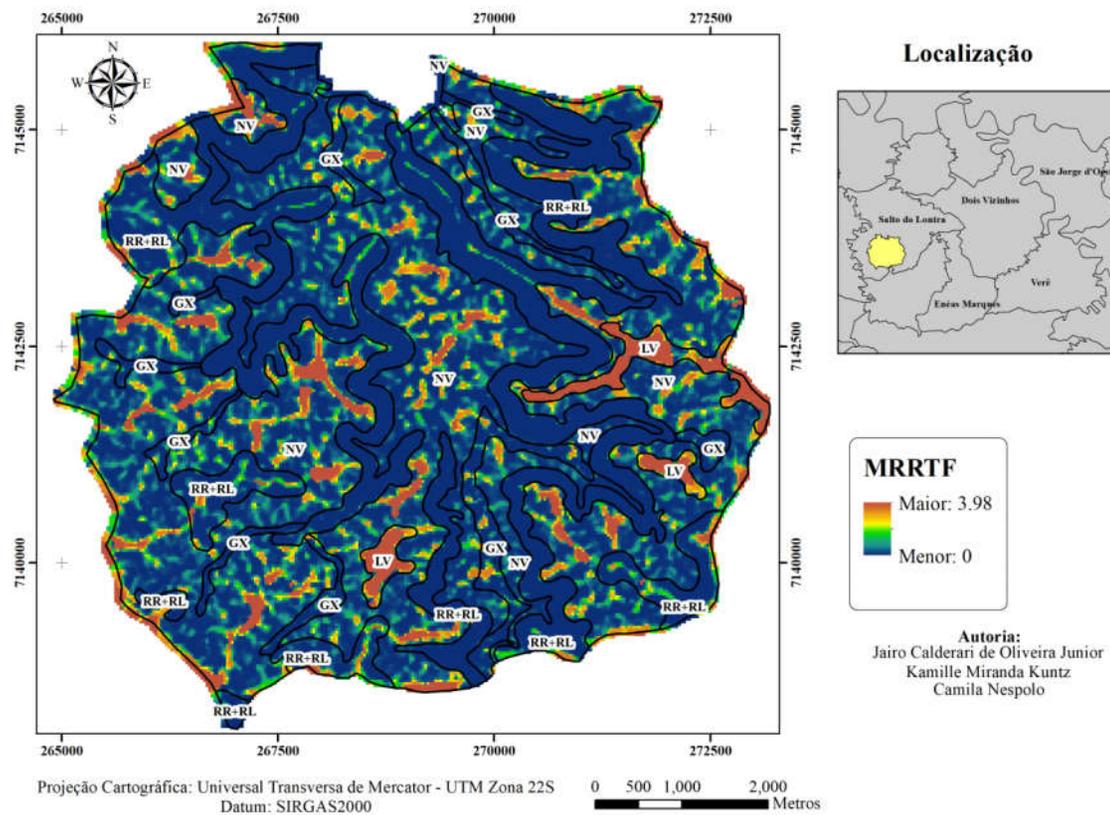


Figura 9 - Mapa do índice de topos planos calculado para bacia do rio do Lontra no município de Salto do Lontra-Pr.
Fonte: OLIVEIRA-JUNIOR; KUNTZ e NESPOLO (2017).

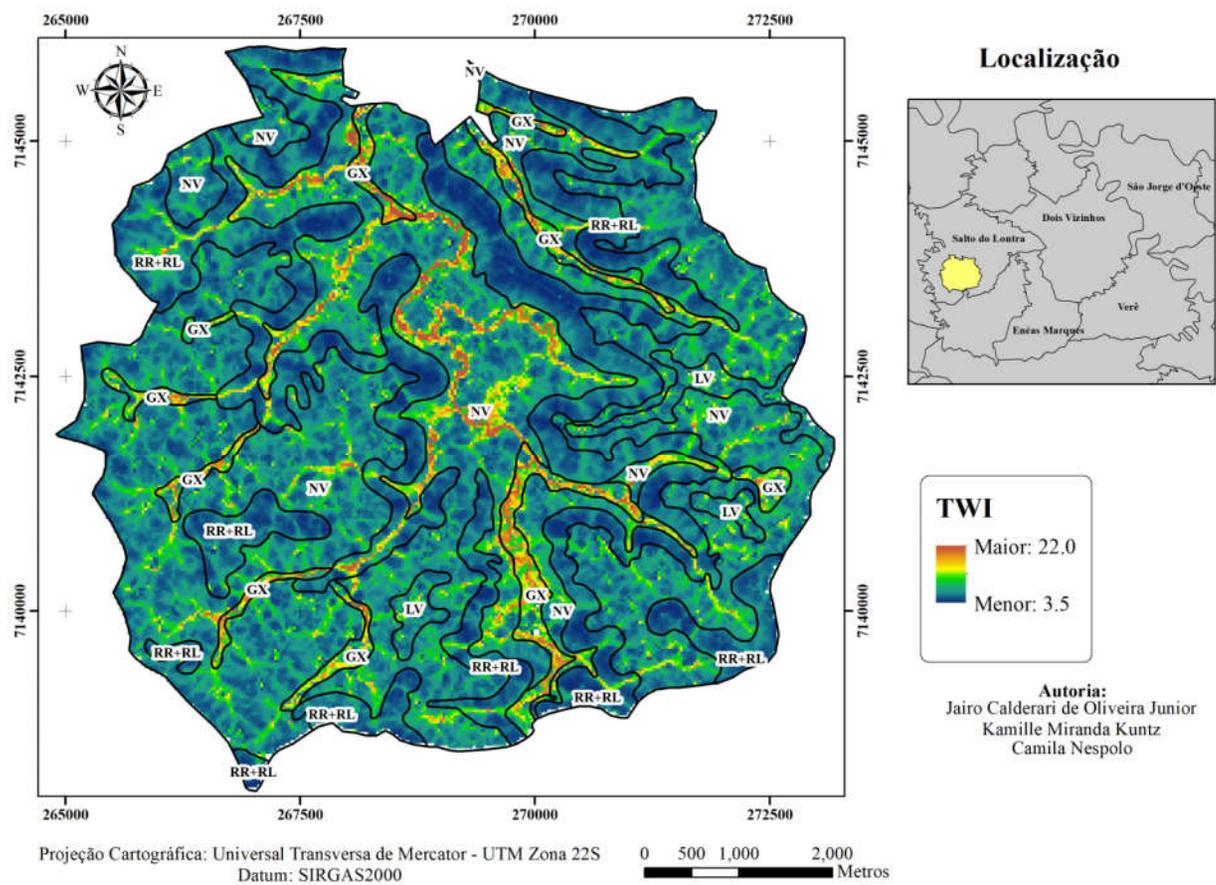


Figura 10 – Mapa do índice de umidade do solo calculado para bacia do rio do Lontra no município de Salto do Lontra-Pr.
Fonte: OLIVEIRA-JUNIOR; KUNTZ e NESPOLO (2017).

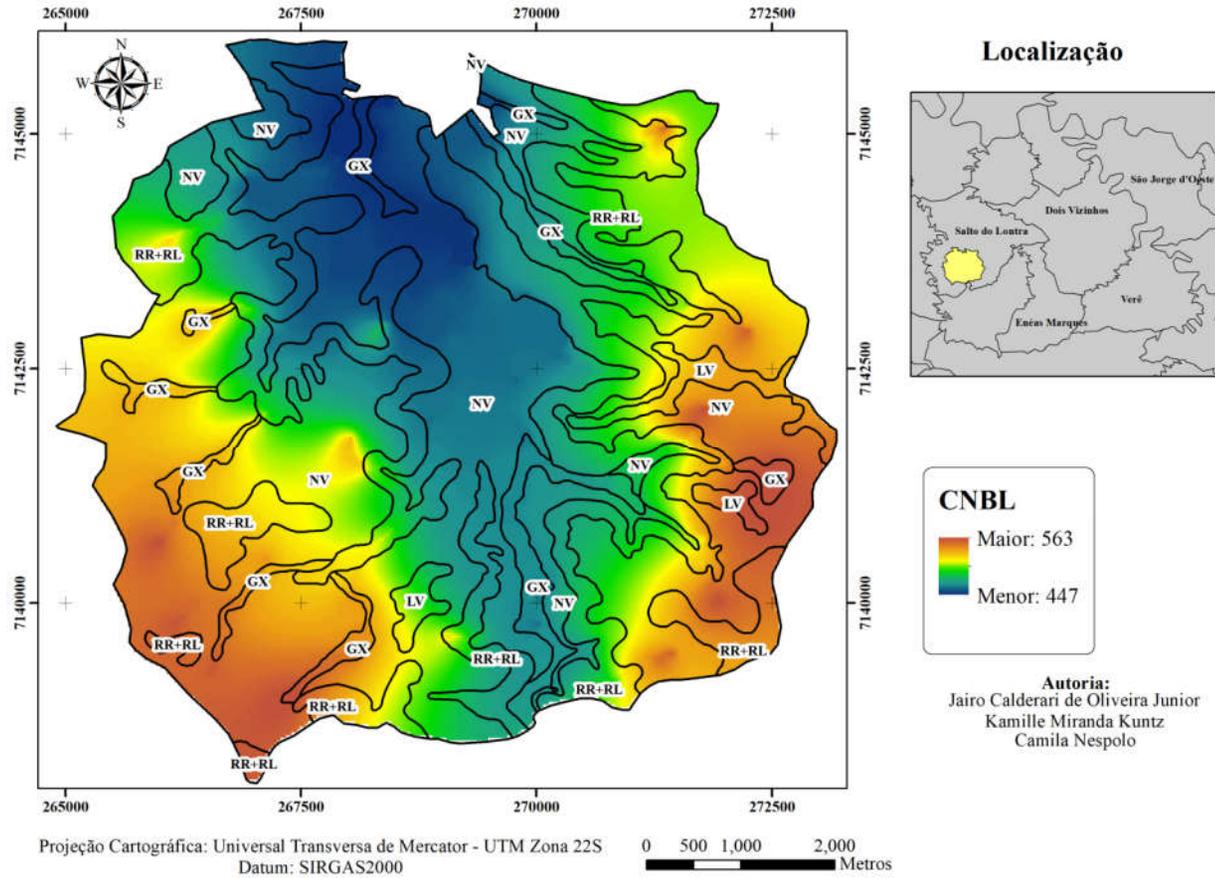


Figura 11 - Mapa da distância vertical em relação ao lençol freático calculado para bacia do rio do Lontra no município de Salto do Lontra-Pr.
Fonte: OLIVEIRA-JUNIOR; KUNTZ e NESPOLO (2017).

5.2 MORFOLOGIA

Ao todo foram 130 pontos observados, sendo que a descrição morfológica detalhada ocorreu em 16 pontos. As classes de solo observadas na bacia do rio Lontra foram Gleissolo Háplico, Nitossolo Vermelho, Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho e Neossolos Litólicos e Neossolo Regolítico.

De acordo com a descrição morfológica realizada (Tabela 2), no geral pode-se observar que a coloração característica dos solos bem drenados são avermelhados. Tal fato se deve a litologia da região, composta por basalto, o qual é rico em minerais contendo ferro em sua composição, destacando-se os minerais como piroxênios e anfibólios. Concomitante ao material de origem rico em ferro, a região sudoeste do Paraná possui clima relativamente quente, em parte pela baixa altitude em relação ao nível do mar. A combinação de ambos, material de origem e clima, propicia a formação de hematita em detrimento da goethita (KAMPF; SCHWERTMANN, 1982). A transição entre horizontes nos perfis ocorre de forma gradual ou difusa, indicando solos autóctones e resultado do material de origem facilmente intemperizável.

O grau de estruturação forte é resultado da estabilidade conferida pelos óxidos de ferro presentes nos solos argilosos (matiz 2,5YR), isso também atribui a esses solos uma certa resistência aos processos erosivos (LIMA et al, 1990). Porém, a estrutura de blocos subangulares, comum nos Nitossolos, não favorece drenagem, em relação a estrutura granular, pois a forma faz um maior ajuste das faces do agregado e diminuição do espaço poroso.

Em relação a consistência, os perfis apresentaram aspecto duro ou ligeiramente duro, conferindo certa resistência à mecanização quando seco. Apresentaram boa friabilidade, sendo facilmente trabalháveis quando úmidos. Quanto à plasticidade, apresentam-se plásticos ou muito plásticos, o que favorece a compactação e conseqüentemente aumenta a suscetibilidade à erosão. Outro fator a ser observado e que acaba dificultando a mecanização dos solos quando molhados é a pegajosidade, característica bastante comum dos solos na região. De maneira a evitar o maior esforço do maquinário bem como a exposição dos solos aos processos de compactação, o estado úmido é o ideal para trabalhar os solos da região.

A cerosidade também se destacou como característica com grande presença nos solos da região, principalmente nos perfis identificados de Nitossolos. Tal característica indica a

migração de argila da superfície para a subsuperfície dentro do perfil. Como o transporte da argila é feito pela água da chuva, que percola o solo nos espaços entre os agregados (macroporos), ele acaba depositando a argila nesses espaços, preenchendo os mesmos e causando o entupimento dos poros com argila, reduzindo de forma significativa a drenagem.

Com isso, percebe-se a necessidade do manejo adequado do solo, as próprias características naturais dos solos da região favorecem os processos erosivos e em alguns casos não possuem boa drenagem, isso agrava quando o solo não é manejado corretamente ou quando o uso não é indicado para o tipo de solo em que se trabalha.

Tabela 2. Descrição morfológica dos perfis abertos nos locais estudados na bacia do rio Lontra.

Perfil	Hz	Prof ¹	Tran ²	Tp ³	Cor ⁴	Cor ⁴	Estr. ⁵	Consistência ⁶			Cerosidade ⁷
					Matiz	H/C		Seco	Úmido	Molhado	
Neossolo Regolítico	A	37	Di	Pl	2,5YR	3/3	Fo, CO, Ba	Mc	MF R	PG/PL	-
	C	58	Di	Pl	7,5YR	4/4	-	-	-	-	-
Nitossolo Vermelho	A	30	Di	Pl	2,5YR	4/4	Fo, Me, Bs	Ld	Fr	PG/PL	-
	AB	40	-	Pl	2,5YR	4/6	Fo,Me,Bs	-	FI	MPG/MPL	c/f
	B	75	-	Pl	2,5YR	4/6	Fo, Gd, Ba	-	MFI	MPG	a/f
Nitossolo Vermelho	A	120	Gr	Pl	7,5YR	7/1	Fo, Gd, Bs	Mc	Fr	LPG/PL	c/f
	B	120+	-	Pl	10R	8/1	Fo,Mg, Bs	-	Fr	LPG/PL	a/f
Latossolo Vermelho	A	100	Di	Pl	10R	6/4	Gd, Gr	Ld	Fr	PG/VPL	p
	AB	140	Di	Pl	10R	8/1	Fo,Gs,Bs	Ld	Fr	MPG/PL	fra
	B	200	-	Pl	2,5YR	4/6	Fo, Bs	Mc	Fr	LPG/PL	p/fra
Gleissolo Háplico	A	40	Nd	Pl	7,5YR	3/4	Nd	Nd	Nd	-	Nd
	C			Pl	10YR	4/4				MPG/MPL	
Nitossolo Vermelho	A	75	Gr	Pl	2,5YR	3/2	Fo, Me, Ba	Mc	MF	PG/PL	-
	AB	120	Gr	Pl	2,5YR	3/3	Fo,Gd, Ba	-	R	PG/PL	p/m
	B	200	-	Pl	2,5YR	4/4	Fo, Mg, Ba	-	Fr FI	MPG/MPL	a/f
Gleissolo Háplico	A	20	Nd	Pl	7,5YR	3/3	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
	Cg1	70		Pl	10YR	4/4					
Cambissolo Háplico	A	30	Di	Pl	5YR	4/4	Fo, Me, Ba	Md	Fr	MPG/MPL	a/f
	B	85	-	Pl	5YR	3/4	Fo, Gd, Ba	Md	Fr	PG/PL	a/f

Fonte: O autor, 2017.

Notas: ¹ Limite inferior do horizonte em cm; ²Transição: Ab = abrupta, Gr = gradual; Di= difusa; ³Topografia: Su = suave, Ir = irregular, Qb = quebrada; Pl=plana; ⁴Cor pela anotação da cartel de Munsell, h = valor, c = croma; ⁵Estrutura: forte (Fo), massiva (Ms), fraca (Fa), grão simples (Gs), médio (Me), grande (Gd), muito pequeno (Mp), muito grande (Mg), granular (Gr), blocos angulares (Ba), blocos subangulares (Bs); ⁶Consistência: macia (Mc), dura (Du), ligeiramente dura (Ld), muito dura (Md), friável (Fr), firme (FI), muito friável (MFR), muito firme (MFI), ligeiramente pegajoso (LPG), muito pegajoso (MPG), pegajoso (PG), ligeiramente plástico (LPL), muito plástico (MPL), plástico (PL). ⁷Cerosidade: pouca (p), comum (c), abundante (a), fraca (fra), moderada (m), forte (f);*Nd – nao determinado.

5.3 ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO

Por meio da análise granulométrica realizada (Tabela 3), a maioria dos solos estudados variam de textura argilosa (350 à 650g.kg⁻¹ de argila) à muito argilosa (650 g.kg⁻¹ de argila), com exceção do horizonte B do perfil 12, com textura franco-argilosa, com apenas 300g.kg⁻¹ de argila no horizonte B e do horizonte C do perfil 17 com textura argilosiltosa.

A relação silte/argila auxilia na mensuração do grau de intemperismo do solo (ANJOS et al., 1998) e apresenta, em solos com textura argilosa ou muito argilosa, valores menores que 0,6 como no caso do perfil 9 com relação 0,17 no horizontes B demonstrando alto grau de intemperismo. Assim como o perfil 12 apresentou apenas 300g.kg⁻¹ de argila no horizonte B e relação silte/argila de 1,24 indicando baixo grau de intemperismo.

Esses resultados estão em consonância com aqueles encontrados por Campos et al. (2007), que encontrou valores de argila entre 450a 520 g kg⁻¹ para Latossolo Vermelho Eutroférico, derivados de basalto, localizado no sopé de superfícies geomórficas no município de Pereira Barreto no Estado de São Paulo.

Tabela 3. Análise granulométrica das amostras de solos coletadas dos perfis estudados na bacia do rio Lontra.

	Hz	Areia (2-0,05mm)	Silte (0,05- 0,002mm)	Argila (<0,002m)	Silte/argila	Textura
.....g.kg ⁻¹						
Neossolo	A	204	236	560	0,42	Argilosa
Regolítico	C	316	204	480	0,42	Argilosa
Nitossolo	A	305	315	380	0,83	Argilosa
Vermelho	B	200	220	580	0,38	Argilosa
Nitossolo	A	232	248	520	0,48	Argilosa
Vermelho	B	230	190	580	0,33	Argilosa
Nitossolo	A	206	234	560	0,42	Argilosa
Vermelho	B	157	123	720	0,17	Muito argilosa
Neossolo	A	226	314	460	0,68	Argilosa
Nitossolo	A	255	265	480	0,55	Argilosa
Vermelho	AB	104	116	780	0,15	Muito argilosa
	B	202	178	620	0,29	Muito argilosa
Neossolo	A	421	219	360	0,61	Argilosa
Litólico						
Nitossolo	A	219	241	540	0,45	Argilosa
Vermelho	AB	397	183	420	0,44	Argilosa

	B	153	167	680	0,25	Muito argilosa
Latossolo Vermelho	A	107	153	740	0,21	Muito argilosa
	AB	68	112	820	0,14	Muito argilosa
	B	39	141	820	0,17	Muito argilosa
Gleissolo Háptico	A	135	365	500	0,73	Argilosa
	C	96	264	640	0,41	Muito argilosa
Nitossolo Vermelho	A	92	308	600	0,51	Muito argilosa
	B	53	107	840	0,13	Muito argilosa
Nitossolo Vermelho	A	299	341	360	0,95	Argilosa
	AB	214	326	460	0,71	Argilosa
	B	328	372	300	1,24	Franco-argilosa
Gleissolo Háptico	A	164	346	490	0,71	Argilosa
	Cg1	197	383	420	0,91	Argilosa
	Cg2	83	197	720	0,27	Muito argilosa
Nitossolo Vermelho	A	71	229	700	0,33	Muito argilosa
	B	35	125	840	0,15	Muito argilosa
Neossolo Litólico	A	133	247	620	0,40	Muito argilosa
Cambissolo Háptico	A	112	188	700	0,27	Muito argilosa
	B	119	251	630	0,40	Muito argilosa
	C1	58	202	740	0,27	Muito argilosa
	C2	64	176	760	0,23	Muito argilosa
Gleissolo Háptico	A	241	359	400	0,90	Argilosa
	C	151	409	440	0,93	Argilossiltosa

Fonte: O autor, 2017.

De acordo com as análises químicas realizadas em laboratório (Tabela 4), observou-se através do pH que os solos da região são levemente ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes.

Em relação ao carbono orgânico, os valores baixos ocorrem por conta do uso intensivo dos solos para agricultura ou pecuária, o que acaba esgotando os recursos naturais e também por conta do clima mais quente característico da região, o que proporciona maior atividade biológica e decomposição rápida da matéria orgânica presente nos solos.

Nos perfis de Latossolo Vermelho percebe-se que apresentaram pH ácido, baixa CTC e baixa atividade da argila. O perfil também apresentou baixa saturação por bases (distrófico) e relação silte/argila menor que 0,6 mostrando que são solos bastante intemperizados. Os Gleissolos Háptico encontrados demonstraram presença acentuada de alumínio e altos teores de carbono orgânico, por conta disso o pH é ácido.

O Nitossolo Vermelho possui baixa CTC e baixa atividade de argila, também com baixa saturação por bases, é semelhante quimicamente com o Latossolo Vermelho, o que diferencia

as duas classes são os atributos físicos. O Nitossolo apresenta estrutura em blocos angulares e subangulares, enquanto que no Latossolo é granular. A presença de cerosidade nos perfis de Nitossolos também são fatores que auxiliam nessa diferenciação. Outra diferença é que os Latossolos ocorrem em áreas mais planas na paisagem, já os Nitossolos, em relevo ondulado como é o predominante na região sudoeste do Paraná.

Tabela 4. Análises químicas dos perfis de solos estudados na bacia do rio do Lontra.

Tipo de solo	Hz	pH		H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SB ¹	CTC ²	Ativ. argila ³	V ⁴	m ⁵	C _{org}	M.O
		H ₂ O	KCl													
.....cmol.kg ⁻¹%.....	g.kg ⁻¹	
RR ⁶	A	6,75	5,6	7,4	0,2	12,2	3,6	0,2	0,6	16,5	23,9	42,7	69,1	1,2	20	35
	C	6,95	5,67	6,2	0,0	10,1	3,5	0,2	12,8	26,6	32,8	68,3	81,1	0,0	8	14
NV ⁷	A	6,43	5,47	10,2	0,9	10,2	4,1	0,6	1,4	16,3	26,5	69,7	61,5	5,2	15	27
	B	6,97	5,71	7,6	0,2	9,2	4,1	0,4	0,3	14,0	21,6	37,2	64,8	1,4	12	21
NV ⁷	A	6,77	6,42	5,7	2,1	12,1	4,3	0,5	0,4	17,3	23	44,2	75,2	10,8	20	34
	B	7,31	5,88	5,3	0,3	9,8	4,2	0,5	0,2	14,7	20	34,5	73,5	2	9	15
NV ⁷	A	6,94	6,2	4,9	0,2	14,5	4,2	0,4	0,3	19,4	24,3	43,4	79,9	1	3	6
	B	7	5,79	5,2	0,2	9,4	4,2	0,5	0,1	14,2	19,4	26,9	73,2	1,4	13	22
RL ⁸	A	6,13	5,49	6,3	0,5	14,6	4,0	0,3	0,1	19,1	25,4	55,3	75,2	2,5	20	35
NV ⁷	A	6,66	5,46	6,1	0,0	11,6	3,9	0,3	0,4	16,2	22,3	46,5	72,7	0,0	18	31
	AB	6,6	5,4	6,4	0,2	10,9	4,1	0,2	0,7	15,9	22,3	28,6	71,3	1,2	7	12
	B	6,41	5,08	6,5	0,3	12,4	4,3	0,2	0,6	17,6	24,1	38,8	73	1,7	9	15
RL ⁸	A	6,47	5,68	7	0,2	10,8	4,1	0,4	0,4	15,6	22,6	62,9	69,1	1,3	18	31
NV ⁷	A	6,71	5,98	7,5	0,1	8,5	4,3	0,8	3,4	17,0	24,5	45,3	69,3	0,6	22	39
	AB	6,54	5,51	6	0	9,8	4,1	0,3	0,1	14,3	20,3	48,4	70,5	0,0	11	20
	B	6,82	5,97	6,2	0,2	5,5	3,9	0,9	3,0	13,3	19,5	28,7	68,2	1,5	12	21
LV ⁹	A	5,08	4,54	13	1,1	4,6	2,3	0,1	0,1	7,1	20,1	27,2	35,5	13,3	21	37
	AB	5,86	4,82	9,8	0,4	4,2	1,4	0,2	0,1	5,9	15,7	19,2	37,7	6,3	14	25
	B	5,63	4,81	8,5	0,6	4,1	1,3	0,1	0,0	5,5	14	17,1	39,5	9,8	12	21
GX ¹⁰	A	6,14	5,29	10,6	0,1	10,0	4,1	0,3	0,2	14,6	25,2	50,4	57,9	0,7	5	9
	C	6,65	5,37	6,3	0,2	13,8	4,5	0,4	0,2	18,9	25,2	39,4	75	1	6	10
NV ⁷	A	5,85	4,9	10,8	0,2	6,2	2,4	0,1	0,3	9,0	19,8	33,1	45,5	2,2	15	25
	B	5,82	4,83	9,3	1,4	3,4	1,9	0,1	0,1	5,5	14,8	17,6	37	20,4	4	6
NV ⁷	A	6,03	5,5	8,1	0,1	13,4	3,7	0,2	0,3	17,6	25,7	71,5	68,5	0,6	9	15
	AB	6,72	5,82	6,4	0,0	12,2	3,5	0,2	0,1	16	22,4	48,6	71,4	0,0	9	16
	B	7,29	5,5	4,7	0,0	20,2	4,6	0,2	0,1	25,1	29,8	99,4	84,2	0,0	6	11
GX ¹⁰	A	5,95	5,23	10,1	0,0	8,2	3,9	0,2	0,7	13,0	23,1	47,1	56,3	0,0	20	36
	CG1	5,61	4,61	10,3	1,2	1,3	0,6	0,1	0,1	2,2	12,5	29,7	17,3	35,8	13	22
	CG2	5,46	4,25	12	4,3	1,5	1,1	0,2	0,1	2,9	14,9	20,6	19,3	60	10	18
NV ⁷	A	4,84	5,02	7,6	0,2	4,6	3,0	0,1	0,3	8	15,6	22,3	51,2	2,4	18	32
	B	5,76	4,87	6,8	0,4	2,9	1,7	0,1	0,0	4,7	11,5	13,7	41	7,8	10	17

RL⁸	A	5,92	5,07	6,2	0,2	3,7	2,0	0,0	0,1	5,9	12,1	19,5	48,7	3,3	9	15
	B	6,31	6,19	4,2	0,0	8,1	3,5	0,1	0,6	12,4	16,6	23,7	74,6	0,0	10	18
CX¹¹	B	6,92	6,17	4,2	0,1	7,1	3,2	0,1	0,3	10,6	14,8	23,5	71,7	0,9	5	8
	C1	5,74	4,72	6,4	1,5	4,1	2,7	0,1	0,1	7	13,4	18	52,1	17,7	4	7
	C2	5,58	4,63	8,2	1,2	3,7	3,2	0,1	0,0	7,1	15,3	20,1	46,3	14,5	4	7
GX¹⁰	A	6,23	5,38	6,1	0,1	5,3	2,6	0,2	0,0	8,1	14,2	35,6	57,1	1,2	11	20
	C	6,32	5,27	5,7	0,0	6,5	3,7	0,2	0,0	10,4	16,1	36,6	64,6	0,0	9	15

¹SB – soma de bases; ²CTC – Capacidade de troca catiônica; ³T argila – atividade da fração argila; ⁴V – saturação por bases; ⁵m – saturação por alumínio; ⁶RR – Neossolo Regolítico; ⁷NV – Nitossolo Vermelho; ⁸RL – Neossolo Litólico; ⁹LV – Larossolo Vermelho; ¹⁰GX – Gleissolo Háplico; ¹¹CX – Cambissolo Háplico.

5.4 MAPA DE CLASSES DE SOLOS

Conforme levantamento realizado na bacia do rio do Lontra foi gerado o mapa de classes de solos (figura 6).

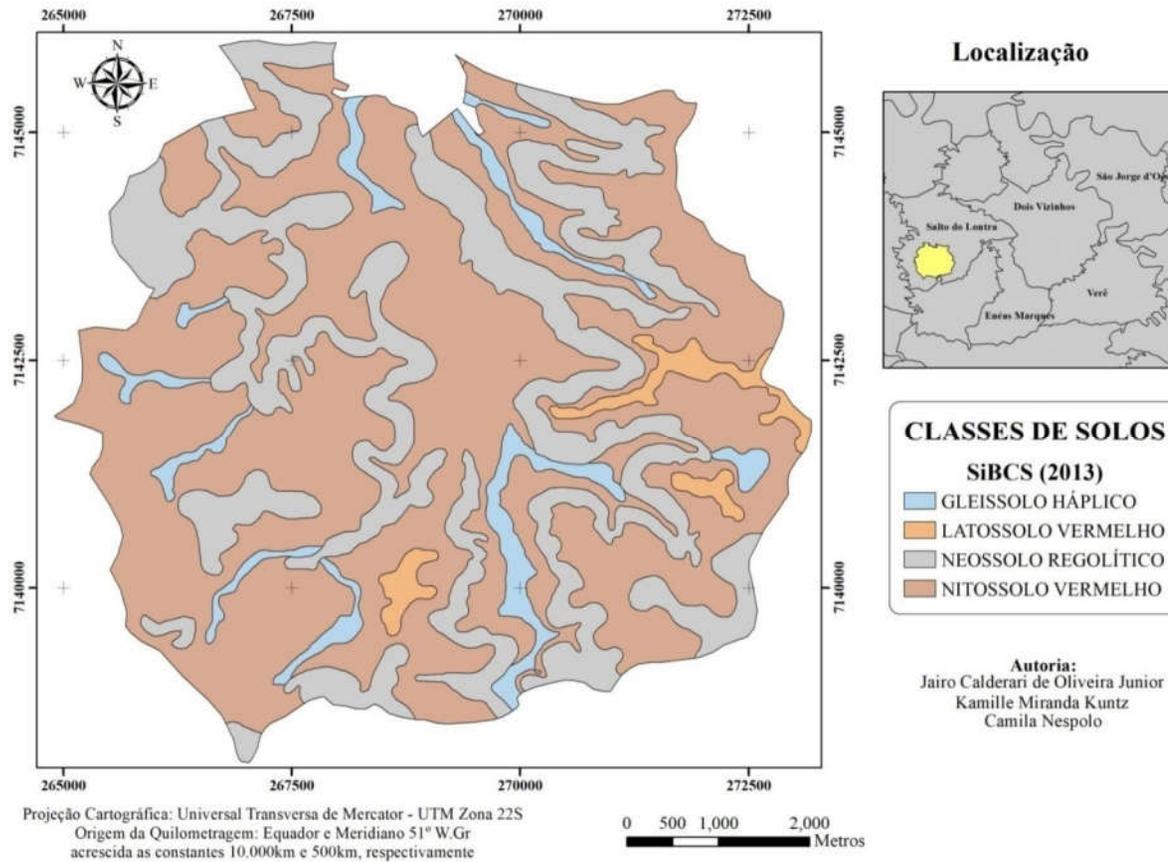


Figura 12 - Mapa de solos semidetalhada da bacia do rio do Lontra no município de Salto do Lontra-Pr.

Fonte: OLIVEIRA-JUNIOR; KUNTZ e NESPOLO (2017).

Na maior parte da bacia do rio Lontra há predominância de Nitossolo Vermelho, abrangendo 62% da área total (2.838,3 ha – Tabela 5). Essa classe de solo possui textura argilosa, cerosidade comum e moderada, estrutura de blocos subangulares, sendo que tais características proporcionam uma drenagem moderada além de suscetibilidade à erosão.

Os Neossolos Regolíticos se mostram bastante expressivos, abrangendo 29,6 % da área estudada (1347,4 ha – Tabela 1). Essa classe de solos é comum na região por conta do relevo ondulado e presença de muitas encostas em que a intensidade dos processos erosivos supera a intensidade dos processos pedogenéticos, impedindo o desenvolvimento do solo e a formação de horizonte B e carreando muitos sedimentos para os corpos hídricos.

O Gleissolo Háptico mesmo que represente apenas 5,36 % da área estudada, desempenha uma importante função ambiental, tanto na recarga hídrica como no abrigo a fauna e flora. Da área total da bacia do rio Lontra, 243 ha correspondem a classe dos Gleissolos. Sabe-se a importância de preservar esse tipo de solo, que inclusive consta na legislação vigente que impede o uso para qualquer atividade agrícola, pecuária ou florestal, porém a realidade observada vai contra isso.

O Latossolo Vermelho apareceu no mapa com apenas 2,49 % da área total estudada (113,2 ha – Tabela 1), sempre situado na parte mais elevada e plana da paisagem. Esperava-se encontrar ocorrência maior dessa classe na região por conta da litologia e do clima, porém o relevo não favoreceu sua formação que se dá em áreas de topo e planas na paisagem. A classe dos Cambissolos foi pouco expressiva, sendo observada em apenas um perfil, e no mapa de solos foi representado na forma de inclusão na classe dos Neossolos.

Tabela 5. Classes de solos e área ocupada por cada classe na bacia do rio Lontra.

Tipo de Solo	Área (ha)	Área (%)
Nitossolo Vermelho (NV)	2838,3	62,49
Neossolo Regolítico (RR+RL)	1347,4	29,66
Gleissolo Háptico (GX)	243,3	5,36
Latossolo Vermelho (LV)	113,2	2,49
Total	4542,25	100,00

Fonte: O autor (2017).

6 CONCLUSÃO

Dessa forma, conclui-se que os índices geomorfométricos são ferramentas de grande utilidade para a predição e o delineamento de classes de solos, reduzindo a subjetividade e agilizando os trabalhos de levantamentos. Sendo que o índice de perda de solo (fator L_s), apresentou valores de 1,29 para Cambissolo, 2,67 para Neossolo e 1,07 para Neossolo mostrando que o Cambissolo aparece como classe intermediária. O MRVBF foi de 0,46 para Neossolo mostrando área com potencial erosivo e 2,21 para Gleissolo mostrando que a classe ocorre em áreas de forte deposição. Em relação ao TWI, 12,52 foi o valor encontrado para Gleissolo comprovando que esse tipo de solo ocorre em áreas alagadas, esse índice se mostrou eficaz para identificação desta classe. A distância vertical até o nível de canal de drenagem foi de 0,8 metros para Gleissolo e 22,50 metros para Nitossolo evidenciando a posição na paisagem das classes.

As classes de solos mais expressivas, Nitossolo Vermelho e NeossoloRegolítico, juntas representam mais de 90% da área. A classe dos Nitossolos é a mais utilizada para cultivos agrícolas na região. Já os NeossolosRegolíticos apresentam potencial erosivo essas classes e podem ser utilizadas desde que com muita atenção, utilizando sistemas de manejos conservacionistas. Com isso, percebe-se a importância das informações geradas para o manejo adequado do solo na bacia do rio do Lontra que é composta em sua maioria por pequenos produtores.

Espera-se que esse levantamento de solos com maior detalhe sirva de base para elaboração de políticas de manejo e conservação dos solos da bacia hidrográfica. Os índices se mostraram efetivos na predição de ambientes com diferentes processos de formação de solo. Estes processos também podem influenciar a capacidade de uso dos mesmos, em que alguns sistemas se utilizam das informações dos levantamentos de solos para estabelecer o máximo uso possível com a menor susceptibilidade aos processos de degradação. Desta forma, os índices geomorfométricos podem ser de grande valia para a classificação das áreas quanto a sua capacidade de uso, tema que pode ser abordado em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, L.H.C. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. In: KER, J.C. et al. eds. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p.303-343.
- ANJOS, L.H. et al. Landscape and pedogenesis of naOxisol-Inceptisol-Utisol sequence in Southeastern Brazil. **SoilSci. Soc. Am. J.** v.62, p.1651-1658, 1998.
- ARAÚJO, A. M. et al. Estimativa do potencial de sedimentação e erosão: caso Manguezal do Pina, Recife (PE), Brazil. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.16, n.2, p.133-140, 2011.
- BAZAGLIA-FILHO, O. **Comparação entre os mapas de solos obtidos pelos métodos convencional e digital numa área complexa**. 2012. 190f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2012.
- BÖHNER, J. et al. Soil Regionalisation by means of terrain analysis and process parameterisation. In: MICHELI, E.; NACHTERGAELE, F.; MONTANARELLA, L. (Eds): **Soil Classification 2001**. Joint Research Centre: Ispra, 2002. p.213-222.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems of land resources assessment**. Francis e Taylor, 1986. 185 p
- CAMARGOS, L. A. et al. Aplicação do Modelo Digital de Terreno (MDT) Advanced Elevation Series (AES) em parte do município de Formosa, GO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** João Pessoa: INPE: 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/capa>>. Acesso em: 28 out 2016.
- CAMPOS et al. Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.3, p. 519-529, 2007.
- CHAGAS, C. Da S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros**. 2006. 238p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Solos e nutrição de plantas, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2006.
- COELHO, F. F. **Comparação de métodos de mapeamento digital de solos através de variáveis geomorfométricas e sistemas de informações geográficas**. 2010. 95f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-

graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

COUTINHO, L. M. et al. Cálculo do Fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo – ES. **Revista Agroambiente**. Boa Vista –RR, v. 8, n.1, p. 01-09, 2014.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Histórico**. 2013. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/unidade/historico.html>>. Acesso em: 02 set. 2016.

_____. **O novo mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

_____. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 1995. 108p.

_____. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

HENGL, T. **Pedometric mapping: bringing the gaps between conventional and pedometric approaches**. Enschede: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), 2003.

IAPAR- Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná, 2000. Série Histórica**. 1994.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=412300&search=parana|salto-do-lontra|infograficos:-informacoes-completas>>. Acesso em: 18 out 2016.

_____. **Manual técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

IPPOLITI-RAMIRO, G. A. et al. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedofomas em microbacia na região de "Mar de Morros" (MG) **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.2, p. 269-276, 2005

JENNY, H. **Factors of soil formation: A system of quantitative pedology.** New York, Dover Publications, 1994 [1941]. 281p.

KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern Brazil and their application in classification of kaolinitic Soils. **Geoderma**, v. 29, p.27-39, 1982.

LAGACHEIRE, P.; McBRATNEY, A. **Digital soil mapping: an introductory perspective.** Amsterdam: Elsevier, 2007.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de pedologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

_____. **Formação e conservação dos solos.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LIMA, J.M. et al. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.85-90, jan./abr. 1990

LIN, H.S. et al. Soil moisture patterns in a forested catchment: A hydrogeological perspective. **Geoderma**, v.131, p.345-368, 2006.

MAGANHOTTO, R. F. et al. 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. **Revista Geografar**. Curitiba v.8, n.2, p.205-236, 2013.

MANSOR, M.T.C. et al. Parâmetro para avaliação do potencial de risco de erosão. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 1., 2002, Aracaju. **Anais eletrônicos...** Aracaju: EMBRAPA, 2002. Disponível em: <<http://www.cpatc.embrapa.br/labgeo/srgsr1/pdfs/poster12.PDF>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

McBRATNEY, A. B.; MENDONÇA-SANTOS, M. de L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v.17, p.3-52, 2003.

MENDONÇA-SANTOS, M.L et al. Digital soil mapping of topsoil organic carbon content of Rio de Janeiro state, Brazil. In: BOETTINGER J. L. et al. (Ed). **Digital mapping: bridging research, environmental application, and operation.** London: Springer, 2010, 2010, p.255-265.

MENDONÇA -SANTOS, M. L. e TEN-CATEN, A. Mapeamento Digital de Solos (MDS): Avanços e Desafios. **Boletim informativo da SBCS**. 2015. Disponível em :<<https://www.researchgate.net/publication/284727046>>. Acessoem: 07 set. 2016.

MCKENZIE, N. J. e GALLANT, J. C. Digital soil mapping with Improved Environmental Predictors and Models of Pedogenesis. In: LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B. eVOLTZ, M.**Developments in Soil Science**, v.31, p.327-349, 2007.

MOORE, I. D. et al. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Societyof America Journal**. V.57,n.2.p. 443-452, 1993.

OLAYA, V. e CONRAD, O. Geomorphometry in SAGA. In: HENGL, T., REUTER, H.I. (Eds.), **Geomorphometry: Concepts, Software, Applications**.Amsterdam: Elsevier, 2008. 293-308p

PRATES, V.; SOUZA, L.C.P. e OLIVEIRA JUNIOR, J.C., Índices para a representação da paisagem como apoio para levantamento pedológico em ambiente de geoprocessamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16.p.408–414, 2012.

PINHEIRO, H. S.K. Métodos de mapeamento digital aplicados na predição de classes e atributos dos solos da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu, RJ.2015. 166f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SANTOS, H.G. dos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

SANTOS, R.D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ed. Viçosa: Embrapa Solos, 2005. 92p.

SIRTOLI, A. E. **Mapeamento de solos com auxílio da geologia, atributos do terreno e índices espectrais integrados por redes neurais artificiais**. 2008. 96f. Tese (Doutorado em Geologia) - Curso de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, PR.

SOUZA, C.H.W. et al. Delimitação automática da microbacia hidrográfica do Rio das Lontras, através dedados SRTM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013>>. Acesso em: 28 out 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A-Amostra de GleissoloHáplico coletada na bacia do rio do Lontra.



APÊNDICE B -Perfil aberto e descrito de Nitossolo Vermelho na bacia do rio do Lontra.



APÊNDICE C – Perfil de Latossolo Vermelho descrito no interior do município de Salto do Lontra-Pr.



APÊNDICE D – Perfil de Neossolo Regolítico descrito em Salto do Lontra-Pr.

