



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES
NATURAIS NA AMAZÔNIA**

LUCIANA SOUZA BRABO

POTENCIAL EROSIVO DE SÃO MIGUEL DO GUAMÁ, NORDESTE PARAENSE

Belém, PA
2020

LUCIANA SOUZA BRABO

POTENCIAL EROSIVO DE SÃO MIGUEL DO GUAMÁ, NORDESTE PARAENSE

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de Concentração: Minimização de riscos e mitigação de desastres naturais na Amazônia.

Linha de Pesquisa: Ameaças naturais no ambiente amazônico.

Orientadora: Prof^ª. Doutora Milena Marília Nogueira de Andrade.

Belém, PA
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B795p Brabo, Luciana Souza
Potencial erosivo de São Miguel do Guamá, nordeste paraense /
Luciana Souza Brabo. — 2020.
104 f. : il. color.

Orientador(a): Profª. Dra. Milena Marília Nogueira de Andrade
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade
Federal do Pará, Belém, 2020.

1. Erosão hídrica laminar. 2. Equação Universal de Perda do
Solo. 3. Influência antrópica. I. Título.

CDD 551.352098115

LUCIANA SOUZA BRABO

POTENCIAL EROSIVO DE SÃO MIGUEL DO GUAMÁ, NORDESTE PARAENSE

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de Concentração: Minimização de riscos e mitigação de desastres naturais na Amazônia.

Linha de Pesquisa: Ameaças naturais no ambiente amazônico.

Data de aprovação: ____/____/____

Banca Examinadora:

Prof^a Milena Marília Nogueira de Andrade – Orientadora
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido
Universidade Federal do Pará

Prof^a Aline Maria Meiguins de Lima – Examinador Interno
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido
Universidade Federal do Pará

Prof^a Suzana Romeiro Araújo – Examinador Externo
Doutora em Solos e Nutrição de Plantas
Universidade de São Paulo

Prof Maurício da Silva Borges – Examinador Interno
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, pelo dom da vida e pelo privilégio de nascer em
uma família que sempre priorizou a educação.

Aos meus pais, em especial à minha mãe, a quem devo a vida e quem sempre abdicou de seus
sonhos para que os meus se tornassem realidade. Uma inspiração para mim, exemplo de
mulher forte e batalhadora, que nunca teve medo do trabalho.

Às minhas fadas-madrinhas, Glória, Nilda e Lila, por tudo o que fizeram por mim.

Ao Marcelo, meu companheiro de vida e de aventuras, meu apoio de sempre e quem segura a
minha mão nos momentos difíceis.

Ao bebê Mateus, que ainda nem veio ao mundo, mas já é a luz da minha vida.

À minha sobrinha amada, Livinha, minha filha do coração, que alegria a minha vida e a torna
mais leve.

À minha irmã Liliane, por todo apoio e pelas incansáveis leituras e correções do trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Pará, pela oportunidade e todo suporte técnico oferecido, como bibliotecas e laboratórios. Eu acredito no Ensino Público de qualidade e estudar na UFPA foi acima de tudo uma experiência de vida.

Ao programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, por todo aprendizado. À coordenação, na figura do Prof. Hernani, aos docentes do programa, que sempre estiveram dispostos a ajudar. E ao secretário Cláudio, sempre muito solícito.

Agradeço imensamente à minha orientadora Prof^a Milena, por todos os ensinamentos, correções e trocas de informações. Por ser essa profissional admirável, mulher inspiradora, sempre disponível e comprometida, com quem dividi os “perrengues” da visita de campo (com recursos próprios).

Aos membros da banca de qualificação, prof^a Aline Meiguins e Prof^a Suzana Araújo, por todas as valiosas contribuições, correções e paciência, inerentes ao processo de formação.

À Biblioteca do Instituto de Geociências da UFPA, na figura da bibliotecária Sra. Lucia Imbiriba, pessoa muito prestativa, que orientou a formatação do trabalho e garantiu que as normas do Programa fossem cumpridas.

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM por toda estrutura física disponibilizada, como computadores e equipamentos eletrônicos. Aos chefes imediatos, Johelder, Homero e Mauro, que sempre foram compreensivos com os horários de aula e atividades do programa.

Aos colegas de trabalho que contribuíram com a pesquisa, dividiram conhecimento e foram imprescindíveis na resolução de alguns problemas técnicos metodológicos, em especial aos queridos Almir, Dianne, Luanna, Andressa, Hugo e Marcelo.

Aos colegas da Rede Hidrometeorológica Nacional, que se mostraram pacientes e compreensivos durante as adaptações dos horários de trabalho em campo, em que precisamos executar algumas atividades fora do horário habitual, devido às atividades do programa. Em especial, os estimados Santos, Marcos, Milton e Renato.

À bibliotecária Nelma, da CPRM, que nunca mediu esforços para conseguir as referências bibliográficas necessárias para o bom andamento da pesquisa, mesmo quando essas encontravam-se em outras unidades regionais da empresa.

Aos colegas Ingrid Cássia, Mário Hélio e Paulo Bezerra que me auxiliaram nos “perrengues” do ArcGis.

“A erosão é a doença mortal dos solos... A terra morre e com ela morre o homem... A erosão marca o lugar da mais triste derrota humana e dela nenhum continente escapa... O solo não é um bem eterno.”

Dante Costa

RESUMO

A região Norte do país, por seu clima tropical, apresenta elevadas taxas de pluviosidade. Podendo desencadear processos de erosão hídrica, devido ao impacto das gotas de água das chuvas, que destroem as estruturas que compõem o solo. A dinâmica da erosão segue uma evolução natural, que tende a ser acelerada a partir de recorrentes intervenções antrópicas que modificam a cobertura vegetal e as propriedades do solo, e favorecem o escoamento superficial da água e das partículas. Nesse contexto, o trabalho teve como objetivo mapear e analisar a susceptibilidade à perda de solo por erosão hídrica laminar, no município de São Miguel do Guamá, utilizando a Equação Universal de Perda do Solo. Para o desenvolvimento da pesquisa utilizou-se Sistemas de Informações Geográficas, que auxiliaram na elaboração de dois mapas. O primeiro avaliou o Potencial Natural à Erosão e considerou apenas os fatores naturais do meio físico como o fator topográfico, tipo de solo e a erosividade das chuvas, enquanto o segundo avaliou a erosão atual e além dos fatores naturais, considerou a influência antrópica, associada ao uso do solo e de práticas conservacionistas. Os fatores que apresentaram maior influência na variabilidade espacial das perdas de solo foram o fator topográfico e o de uso do solo e práticas conservacionistas. O município de São Miguel do Guamá possui relevo considerado plano a suave ondulado, por isso o fator CP foi preponderante. Com isso as áreas de maior susceptibilidade erosiva estão localizadas onde não há a presença de cobertura vegetal e nem a aplicação de práticas de conservação do solo, ou seja, nas classes solo exposto e extração mineral. O estudo foi realizado sob uma perspectiva qualitativa e o município de São Miguel do Guamá foi considerado como de baixa susceptibilidade à perda do solo por erosão hídrica laminar. Acredita-se que este tipo de estudo possa ser norteador para a compreensão dos processos erosivos, pois aponta as fragilidades do meio e destaca as áreas prioritárias. Dessa forma, pode alimentar discussões sobre planejamento do uso do solo e a adoção de técnicas adequadas de manejo, evitando a intensificação dos processos erosivos ou prevenindo a ocorrência desses eventos e seus impactos.

Palavras-chave: Erosão hídrica laminar. EUPS. Influência antrópica.

ABSTRACT

The northern region of the country, due to its tropical climate, has high rates of rainfall. It can trigger processes of water erosion, due to the impact of drops of rain water, which destroy the structures that make up the soil. The dynamics of erosion follow a natural evolution, which tends to be accelerated from recurring anthropic interventions that modify the vegetation cover and soil properties, and favor the surface runoff of water and particles. In this sense, the work aimed to map and analyze the susceptibility to soil loss by laminar water erosion, in the municipality of São Miguel do Guamá, using the Universal Soil Loss Equation. For the development of the research, Geographic Information Systems were used, which helped in the elaboration of two maps. The first evaluated the Natural Potential for Erosion and considered only the natural factors of the physical environment such as the topographic factor, soil type and the erosivity of the rains, while the second evaluated the current erosion and in addition to the natural factors, considered the anthropic influence, associated land use and conservation practices. The factors that had the greatest influence on the spatial variability of soil losses were the topographic and land use factors and conservation practices. The municipality of São Miguel do Guamá has a relief considered flat to smooth undulating, so the CP factor was predominant. As a result, the areas of greatest erosive susceptibility are located where there is no vegetation cover or the application of soil conservation practices, that is, in the exposed soil and mineral extraction classes. The study was carried out from a qualitative perspective and the municipality of São Miguel do Guamá was considered to be of low susceptibility to soil loss by laminar water erosion. It is believed that this type of study can guide the understanding of erosive processes, as it points out the weaknesses of the environment and highlights the priority areas. Thus, it can fuel discussions on land use planning and the adoption of appropriate management techniques, avoiding the intensification of erosion processes or preventing the occurrence of these events and their impacts.

Keywords: Laminar water erosion. USLE. Anthropic influence.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Erosão laminar em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, em Ceres (GO).	20
Figura 2 – Igarapé assoreado em São Miguel do Guamá (PA).	21
Figura 3 - Processo erosivo em forma de sulcos.	22
Figura 4- Sulcos erosivos em São Miguel do Guamá.	22
Figura 5 - Erosão do tipo ravina.	23
Figura 6 - Ravina em Sumaré/SP.	23
Figura 7 - Erosão do tipo voçoroca.	24
Figura 8 - Nomograma de Wischmeier e Smith.	30
Figura 9 - Mapa de localização do município de São Miguel do Guamá (PA).....	35
Figura 10 - Fluxograma metodológico	37
Figura 11 – Tela do Software Hidroflu para a seleção das estações de apoio da estação Colônia Santo Antônio.	40
Figura 12 – Triângulo textural do solo.	44
Figura 13 - Pontos amostrados em trabalho de campo em São Miguel do Guamá.	55
Figura 14 - Curva Duplo Cumulativa ou Dupla Massa da estação Fazenda Jauará.	57
Figura 15 - Mapa de erosividade para o município de São Miguel do Guamá.	58
Figura 16 - Relação mensal entre Pluviosidade e erosividade.	60
Figura 17 - Tipos de solo encontrados no município de São Miguel do Guamá.	61
Figura 18 - Mapa de erodibilidade do solo no município de São Miguel do Guamá.....	63
Figura 19 - Mapa do fator Comprimento de rampa (L).....	65
Figura 20 - Mapa do fator Declividade (S).	67
Figura 21 - Mapa Fator Topográfico de São Miguel do Guamá.	68
Figura 22 - Classificação do Mapa Fator Topográfico de São Miguel do Guamá.....	70
Figura 23 - Porcentagem de área ocupada pelas classes de uso do solo.	71
Figura 24 - Vegetação secundária em São Miguel do Guamá.	72
Figura 25 – Vegetação nativa às margens do rio Guamá.	72
Figura 26 - Cultivo agrícola permanente: urucum.....	73
Figura 27 - Cultivo agrícola permanente: pimenta-do-reino.	73
Figura 28 - Cultivo agrícola permanente: dendê.	74
Figura 29 - Cultivo agrícola temporário: mandioca.	74
Figura 30 - Cultivo agrícola temporário: feijão.....	75

Figura 31 - Indústria cerâmica em São Miguel do Guamá.....	75
Figura 32 – Fornos na Indústria cerâmica em São Miguel do Guamá.	76
Figura 33 – Área abandonada de exploração de argila em São Miguel do Guamá.....	76
Figura 34 – Área de exploração de areia em São Miguel do Guamá.	77
Figura 35 - Mapa de uso do solo de São Miguel do Guamá.	78
Figura 36 – Mapa do fator CP no município de São Miguel do Guamá.	81
Figura 37 – Cassificação do mapa do potencial natural a erosão (PNE).....	83
Figura 38 – Detalhe dos fatores que mais influenciam na erosão atual.	85
Figura 39 – Mapa de erosão atual (EA).....	87
Figura 40 – Pontos de ocorrência de processos erosivos em São Miguel do Guamá.	88
Figura 41 – Processo erosivo ativo em vias de acesso à São Miguel do Guamá.	89
Figura 42 – Processo erosivo ativo em vias de acesso à São Miguel do Guamá.	89
Figura 43 – Erosão em sulcos na área urbana de São Miguel do Guamá.....	90
Figura 44 – Erosão em sulcos nas estradas de acesso de São Miguel do Guamá.	90
Figura 45 – Área urbana do município: residência próxima da borda das ravinas.	91
Figura 46– Área urbana do município: residências construídas no topo do talude.....	91
Figura 47 – Área urbana do município: descarte de água servida diretamente no solo.....	92
Figura 48– Detalhe dos pontos de erosão mapeados em São Miguel do Guamá.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor P para as práticas conservacionistas mais utilizadas no Brasil.	33
Tabela 2 - Estações utilizadas na análise de consistência dos dados pluviométricos.	41
Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos do solo em São Miguel do Guamá.	43
Tabela 4 - Classificação quanto à permeabilidade do solo.....	45
Tabela 5 - Valores de fator C para os diferentes tipos de uso do solo.....	52
Tabela 6 - Valores de fator P para os diferentes tipos de uso do solo.	53
Tabela 7 - Valores de fator CP para os diferentes tipos de uso do solo.	53
Tabela 8 - Valores médios mensais e totais médios de precipitação das estações pluviométricas próximas ao município de São Miguel do Guamá.....	58
Tabela 9 - Valores médios mensais de Erosividade e Fator R das estações pluviométricas próximas ao município de São Miguel do Guamá.	59
Tabela 10 - Chave de interpretação de Erosividade da chuva.	59
Tabela 11 - Área ocupada pelas classes do solo e seus respectivos fatores K.	62
Tabela 12 - Chave de Classificação dos valores de erodibilidade do solo.	62
Tabela 13 - Classes de comprimentos de rampa no município de São Miguel do Guamá.	64
Tabela 14 - Classes de relevo no município de São Miguel do Guamá.	66
Tabela 15 - Chave de classificação do Fator LS.	69
Tabela 16 - Porcentagem de área ocupada pelas classes de uso do solo.	79
Tabela 17 - Chave de interpretação da estimativa de perda de solo.....	82
Tabela 18 - Chave de interpretação da estimativa de perda de solo.....	84

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	Desastres naturais	17
3.2	Susceptibilidade erosiva	18
3.3	Erosão	19
3.3.1	Erosão hídrica.....	20
3.3.2	Fatores que influenciam a erosão	24
3.4	Equação Universal da Perda do Solo (EUPS)	25
3.4.1	Fator R – Erosividade das chuvas	26
3.4.2	Fator K – Erodibilidade do Solo.....	28
3.4.3	Fator LS – Topográfico	31
3.4.4	Fator CP – Uso do solo (C) e Práticas Conservacionistas (P).....	32
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1	Área de estudo	35
4.2	Metodologia	37
4.2.1	Fator R – Erosividade das chuvas	38
4.2.2	Fator K – Erodibilidade do Solo.....	43
4.2.3	Fator LS – Topográfico	45
4.2.4	Fator CP – Uso do solo (C) e Práticas Conservacionistas (P).....	47
4.2.4.1	<i>Trabalho de campo</i>	54
4.3	Mapas de erosão potencial (EP) e erosão atual (EA)	56
5.	RESULTADO E DISCUSSÃO	57
5.1	Fator R – Erosividade das chuvas	57
5.2	Fator K – Erodibilidade do solo	61
5.3	Fator LS – Topográfico	64
5.4	Fator CP – Uso do solo (C) e práticas conservacionistas (P)	71
5.5	Potencial natural à erosão laminar (PNE)	82
5.6	Erosão atual (EA)	84
5.7	Setorização de risco	88

6.	CONCLUSÃO	94
	REFERÊNCIAS	95
	APÊNDICE A – Mapa de susceptibilidade à perda do solo em São Miguel do Guamá	104

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de desastres naturais dá-se quando fenômenos de origem natural atinge regiões habitadas, causando-lhe danos (TOMINAGA, 2009). No Brasil há registros de ocorrências de alagamentos, enxurradas, erosões, estiagens e secas, geadas, granizo, inundações, incêndios, movimentos de massa, tornados e vendavais (CEPED, 2013a).

Na região Norte do país, os desastres de maior recorrência estão relacionados às elevadas taxas de pluviosidade (CEPED, 2013a). Os processos erosivos ocorrem principalmente nas regiões de clima tropical, onde as chuvas atingem índices pluviométricos elevados (SANTORO, 2009). Fonseca e Szlafsztein (2013) destacaram a ocorrência de eventos desastrosos de erosão hídrica no Estado do Pará, devido ao impacto das gotas de água da chuva, que destroem as estruturas que compõem o solo (areias, argilas, óxidos e húmus).

A crescente e acelerada demanda por alimentos incentiva os agricultores a utilizarem suas terras visando a rápida produção e sem o uso de técnicas de conservação do solo, o que favorece a ocorrência de processos erosivos (VIEIRA *et al.*, 2000). Além disso, as recorrentes intervenções antrópicas, como desmatamento, compactação do solo, cortes do terreno, urbanização e impermeabilização do solo, aceleram o processo erosivo e favorecem à degradação das terras, devido a alteração da cobertura vegetal e das propriedades do solo que intensifica o escoamento superficial da água e das partículas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010; SANTORO, 2009).

Dessa forma, a erosão do solo constitui uma forma de degradação do território mais generalizada, que não se restringe apenas às áreas agrícolas (MAFRA, 2007). Os processos erosivos podem causar enormes prejuízos relacionados à diminuição da produtividade, como a compactação e perda de solo, inutilização de áreas agriculturáveis, degradação da qualidade e o assoreamento dos corpos d'água, podendo desencadear eventos como escorregamentos e inundações e aumentar o risco para a população residente nessas áreas (FRANCISCO, 2011; KOBIYAMA *et al.*, 2006; SILVA; LUCHIARI, 2016; SILVA; MACHADO, 2014;).

Assim, Milanezzi e Pereira (2016) destacaram o estudo de susceptibilidade como uma forma de estimar áreas mais propensas à erosão, utilizando-se de técnicas de geoprocessamento, que permitem melhor compreender as características do espaço (ZANELLA *et al.*, 2013). Trata-se de um estudo de caráter preventivo, capaz de fortalecer políticas de ordenamento territorial e evitar a ocorrência de perdas provenientes de processos erosivos (MAFFRA; MAZZOLA, 2007).

Muitos modelos matemáticos estão sendo desenvolvidos para descrever e prever a ocorrência desses processos (FARINASSO *et al.*, 2006). A Equação Universal de Perda do Solo, devido o seu cunho empírico e ao advento do geoprocessamento, foi proposta pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) como um modelo matemático que permite definir áreas de susceptibilidade à erosão (MATOS, 2015).

Diante do exposto, observou-se a necessidade da realização de estudos de susceptibilidade erosiva em São Miguel do Guamá, o qual abriga o principal distrito ceramista do norte do país, onde a atividade minerária que provoca intenso revolvimento do solo pode causar elevado impacto (LEITE *et al.*, 2018). Em São Miguel do Guamá, foi realizado mapeamento prévio, pelo Serviço Geológico do Brasil, que identificou 9 áreas em situação de risco, provenientes de processos erosivos (MELLO; SIMÕES, 2015). Além disso, em estudo de Andrade *et al.* (2017) o município é classificado como de Alta susceptibilidade a desastres naturais. Somando-se às informações supracitadas, foi identificada deficiência de trabalhos científicos, voltados para este município, acerca da temática.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O trabalho tem como objetivo mapear a susceptibilidade erosiva no município de São Miguel do Guamá, localizado no Nordeste Paraense, utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Avaliar como os diferentes fatores naturais e antrópicos contribuem para a susceptibilidade erosiva do município;
- b) Gerar um mapa síntese de susceptibilidade erosiva para a o município de São Miguel do Guamá;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Desastres naturais

O Glossário de Defesa Civil define como desastres o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (SEDEC, 2015). No Brasil os desastres geralmente estão relacionados a fenômenos climáticos e são potencializados pela ação humana (MAFFA; MAZZOLA, 2007). Os desastres ocorrem normalmente de forma súbita e inesperada, com gravidade e magnitude capazes de produzir danos materiais, humanos e prejuízos socioeconômicos (IBGE, 2017).

Inundações, escorregamentos e demais fenômenos naturais, causadores de desastres, são denominados perigos naturais e colocam em risco diferentes entidades e classes sociais (GOERL; KOBIYAMA, 2013). Dentre os fatores que contribuem para desencadear os desastres nas áreas rurais, destacam-se o desmatamento, a compactação dos solos, o assoreamento dos rios e as queimadas (IBGE, 2017). Enquanto que nas áreas urbanas destacam-se a impermeabilização do solo e o acelerado processo de urbanização, geralmente desordenado, ocupando encostas e margens de rios (IBGE, 2013b; 2017; TOMINAGA, 2009). Ou seja, o uso impróprio dos recursos naturais e a ocupação de áreas mais susceptíveis são os fatores que potencializam a ocorrência de desastres naturais (MILANEZI; PEREIRA, 2016).

Assim, conforme Mata Lima *et al.* (2013) desastres são eventos de origem natural, com consequências agravadas pela ação antrópica, que causam perturbações no meio (ambiente e social) e impactos socioeconômicos de elevada severidade, com danos materiais, perdas de meios de subsistência e de vidas humanas.

Os desastres podem ser classificados quanto a sua origem, evolução, e intensidade, conforme Brasil (2007). No entanto, para Kobiyama *et al.* (2006), os desastres também podem ser classificados quanto a sua duração, sendo episódicos como os terremotos, vulcanismos, tsunamis, inundações e fluxo de detritos, que chamam mais atenção por sua magnitude; e crônicos, aqueles como a erosão do solo, que causam sérios prejuízos ambientais, especialmente em longo prazo.

Um elevado número de perdas humanas e materiais associam-se às enchentes, seca, erosão e escorregamentos de terra (MAFFRA; MAZZOLA, 2007). Conforme o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, no período entre 1991 a 2012, os desastres que mais afetaram o Estado do Pará foram as inundações (46%), seguida pelas enxurradas (32%) e processos erosivos (10%, sendo que 6% refere-se à erosão hídrica) (CEPED, 2013b).

Entre 1991 e 2001 há carência de informações sobre a ocorrência de desastres, devido à dificuldade em manter os registros atualizados. No entanto, conforme Ceped (2013a) os órgãos de Defesa Civil vêm passando por um processo de reestruturação, que tem favorecido à gestão dos dados sobre desastres. Desde 2012 está em operação o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), concebido para qualificar as informações, de maneira a fornecer subsídios à gestão de riscos e desastres naturais no Brasil (UFSC, 2014).

O Sistema de Defesa Civil é o responsável por coordenar e executar as ações de enfrentamento dos riscos decorrentes dos desastres naturais. Ele possui uma estrutura organizacional com diretrizes e planos de ação para os atendimentos emergenciais em todo território nacional, no entanto, lamentavelmente, não há o mesmo tratamento para as ações preventivas, que ficam sempre em segundo plano (TOMINAGA, 2009).

Dessa forma, conforme Milanezi e Pereira (2016) é importante considerar estratégias para a prevenção de desastres, sob a ótica do desenvolvimento sustentável, que atuem na implantação e fortalecimento de políticas de ordenamento territorial (com ênfase na gestão ambiental), de acesso à habitação, combate ao desmatamento e de incentivo ao mapeamento do risco (MAFFRA; MAZZOLA, 2007).

3.2 Susceptibilidade erosiva

O termo susceptibilidade representa a propensão de uma área em ser afetada por um determinado perigo, devido aos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos (JULIÃO *et al.*, 2009). Já o perigo é descrito por Tominaga (2009), como o evento, fenômeno ou atividade humana potencialmente danosa.

O estudo da susceptibilidade erosiva deve investigar e identificar os fatores que contribuem para a degradação de uma área. Os fatores indicativos de erosão podem ser físicos e químicos, biológicos e antropogênicos. Sendo os parâmetros antropogênicos responsáveis pela expressiva alteração do ambiente natural e mudanças na paisagem (COSTA *et al.*, 2009). Uma vez que muitas atividades praticadas pela sociedade desencadeiam e intensificam as etapas do processo erosivo (erosão acelerada, antrópica ou antropogénica) acarretando desequilíbrios na paisagem (FUSHIMI *et al.*, 2013)

Dessa forma, se torna necessária a aplicação de ferramentas ou metodologias que facilitem o procedimento de análise de susceptibilidade erosiva (BACHI *et al.*, 2015). Uma das principais proposições é a metodologia de Crepani *et al.* (2001), que leva em consideração os conceitos da Ecodinâmica de Tricart (1977) e define as unidades de paisagem natural a partir

dos componentes: geologia, geomorfologia, pedologia, clima, vegetação e uso da terra. Outra alternativa, amplamente utilizada, para obter a susceptibilidade à perda de solo é a aplicação da Equação Universal de Solos (EUPS), desenvolvida por Wischmeier e Smith (1965) e aprimorada por diversos estudiosos.

O estudo de susceptibilidade jamais deve ser realizado sob uma única condição ou aspecto, ou incorrerá em um grave erro de concluir uma simples relação de causa e efeito. (THOMAZIELLO, 2007). Dessa forma, a aplicação das geotecnologias tem se mostrado bastante eficiente, pois permite integrar e relacionar diversas variáveis, capazes de identificar áreas propensas à ocorrência de erosão (SILVA; MACHADO, 2014). A superposição de camadas de informação tem proporcionado melhora na interpretação e compreensão das características ambientais, sociais e das relações que ocorrem em um determinado espaço (ZANELLA *et al.*, 2013). Assim, essa ferramenta tem permitido analisar as potencialidades e restrições presentes no ambiente, contribuindo para o processo de tomada de decisões e para o ordenamento do território (LOPES; SALDANHA, 2016).

3.3 Erosão

Erosão é um processo caracterizado pelo desgaste e fragmentação do solo e das rochas e por sua remoção para as regiões mais baixas do relevo (IBGE, 2013b). Trata-se de um processo natural, iniciado pelo intemperismo, ou seja, quando as rochas superficiais entram em contato com o meio ambiente e sofrem transformações em suas características físicas e químicas (VIEIRA *et al.*, 2000). No entanto, o processo erosivo tende a ser acelerado à medida que o desmatamento aumenta e o solo fica desprotegido e exposto a intempéries (GUERRA, 2007).

A erosão dos solos resulta do desequilíbrio entre a força dos agentes erosivos e a resistência oferecida pelas condições próprias do terreno (VIEIRA *et al.*, 2000). Dependendo do agente erosivo, podem ocorrer diversos tipos de erosão, são eles: glacial, associada ao trabalho das geleiras; eólica, causada pelos ventos; hídrica, derivada do fator água pluvial e que engloba o sub-tipo fluvial, associado a dinâmica dos rios (WEILL; PIRES NETO, 2007).

Vieira *et al.* (2000) considera a erosão hídrica a única forma séria de erosão que ocorre no Brasil atual, pois os demais agentes com potencial erosivo, possuem pouca importância na maior parte do país. Esse processo ocorre, sobretudo, nas regiões de clima tropical, onde há concentração de chuvas em determinado período e os índices pluviométricos são bastante elevados (SANTORO, 2009).

3.3.1 Erosão hídrica

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2010); Lepsch (2010); Salomão (2007) a erosão hídrica é resultado do impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo, desprovido de vegetação, que provoca o rompimento dos agregados e a liberação das partículas que o compõem. A destruição dos agregados no topo do solo, provoca a formação de crosta e a selagem do solo, que prejudicam a sua capacidade de infiltração e favorecem o escoamento superficial da água das chuvas (GUERRA *et al.*, 2007). Dessa forma, há a ocorrência de enxurradas, que removem até as áreas mais baixas, as partículas em suspensão e os elementos nutritivos em solução (VIEIRA *et al.*, 2000). A erosão hídrica é classificada em erosão laminar ou linear.

A erosão hídrica é laminar quando há a remoção de uma camada delgada do horizonte superficial do solo, por escoamento superficial, de forma progressiva e relativamente uniforme, sem a formação de canais definidos (SALOMÃO, 2007; VIEIRA *et al.*, 2000). Embora essa seja a forma mais importante de erosão, é também a mais difícil de ser identificada e avaliada, pois evolui com pequena diferenciação morfológica entre os horizontes do perfil, ou seja, sem apresentar vestígios acentuados (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010) (Figura 1).

Figura 1 – Erosão laminar em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, em Ceres (GO).



Fonte: Camargo e Santos (2014).

A erosão laminar ocorre mesmo em terrenos que apresentam pequena declividade (VIEIRA *et al.*, 2000). Esse tipo de erosão causa prejuízos a terras agrícolas, pois arrasta as partículas mais leves e o horizonte mais fértil do solo, sendo a matéria orgânica as primeiras partículas a serem desagregadas (FONSECA; SZLAFSZTEIN, 2013).

Caso não sejam tomadas medidas de controle contra enxurradas, a ação erosiva pode evoluir para erosão linear e provocar o aparecimento de sulcos e ravinas (LEPSCH, 2010). Segundo Santoro (2009) os sedimentos oriundos da fragmentação e transporte do solo, podem causar o assoreamento de rios, lagos e represas, e contribuir para o aumento na frequência e intensidade de enchentes e inundações, provocando transtornos e prejuízos às populações, principalmente àqueles residentes próximos aos cursos d'água (Figura 2).

Figura 2 – Igarapé assoreado em São Miguel do Guamá (PA).



Fonte: Mello e Simões (2015).

A erosão é classificada como linear quando há a concentração das linhas de fluxo de água do escoamento superficial e incisões mais evoluídas na superfície do terreno, em forma de sulcos (WEILL; PIRES NETO, 2007) (Figuras 3 e 4). A erosão em sulcos é resultante das pequenas irregularidades no declive do terreno, que provocam a concentração das enxurradas em determinados pontos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). É importante que essa forma de erosão seja combatida assim que notada, pois quando em estágio inicial, é possível desfazer os sulcos utilizando operações normais de preparo de solo, no entanto, quando em estágios avançados o uso de maquinário agrícola se torna dispendioso e inviável (VIEIRA *et al.*, 2000).

Figura 3 - Processo erosivo em forma de sulcos.



Fonte: Santoro (2009).

Figura 4- Sulcos erosivos em São Miguel do Guamá.



Fonte: Mello e Simões (2015).

Conforme Bertoni e Lombardi Neto (2010) a presença de sulcos no solo torna a erosão linear visível em campo. A cada chuva esses pequenos sulcos vão se tornando mais profundos e mais longos (VIEIRA *et al.*, 2000). Assim, a degradação do solo pode evoluir para formas erosivas como ravinas e voçorocas (WEILL; PIRES NETO, 2007).

Ravinas são formas erosivas, geradas a partir da evolução de sulcos, que se ampliam até a formação de grandes cavidades ramificadas, com incisões menores que 50 centímetros de largura e profundidade (LEPSCH, 2010; OLIVEIRA, 2007) (Figuras 5 e 6).

Figura 5 - Erosão do tipo ravina.



Fonte: Almeida Filho (2015).

Figura 6 - Ravina em Sumaré/SP.



Fonte: Santoro (2009).

As voçorocas são formas erosivas resultantes do aprofundamento dos sulcos, ocasionadas por grandes concentrações de enxurradas, ano após ano, que formam grandes cavidades em extensão e profundidade, impossíveis de corrigir com implementos comuns (VIEIRA, 2000). As voçorocas se apresentam como “rasgos” nas encostas e possuem incisões com largura e profundidade superiores a 50 centímetros (LEPSCH, 2010; OLIVEIRA, 2007) (Figura 7). Quando a erosão em sulcos evolui para essa forma, diz-se que o processo alcançou o ponto de maior gravidade, devido à mobilização de grandes porções do solo e a destruição de áreas urbanas e obras civis (SANTORO, 2009).

Figura 7 - Erosão do tipo voçoroca.



Fonte: Almeida Filho (2015).

Em locais onde os horizontes do solo possuem material de consistência uniforme, as voçorocas se desenvolvem em paredes mais ou menos verticais, e quando possuem material muito friável as paredes ficam sujeitas a frequentes desmoronamento (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

3.3.2 Fatores que influenciam a erosão

A intensidade da erosão varia conforme os agentes e as resistências oferecidas a eles. De um lado tem-se a água trabalhando para arrastar o solo e do outro o solo resistindo, buscando se proteger com a cobertura vegetal e a matéria orgânica (VIEIRA *et al.*, 2000). A erosão é causada por forças ativas, que causam ou afetam diretamente o processo, como a chuva, declividade e comprimento de rampa, capacidade do solo em absorver água e ações humanas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). E por forças passivas, como o tipo de solo, e a densidade da cobertura vegetal (CARVALHO, 1994).

A chuva é um dos fatores climáticos mais importante quando se estuda erosão do solo, nele aspectos como frequência, intensidade e duração devem ser observados (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

Os elementos do relevo, declividade e comprimento da encosta, interferem diretamente na velocidade e volume das enxurradas, que aumentam conforme a elevação da inclinação e do comprimento da encosta (VIEIRA *et al.*, 2000).

O solo constitui o principal fator natural relacionado à erosão, pois além de influenciar, ele sofre a ação dos processos erosivos (GUERRA *et al.*, 2007). Sua influência é devida as suas propriedades físicas e químicas, como textura, estrutura, densidade, permeabilidade e fertilidade, que interferem no grau de susceptibilidade do solo (LEPSCH, 2010).

A cobertura vegetal atua como defesa natural contra a erosão de um terreno (GUERRA *et al.*, 2007). Além disso, vale ressaltar que as técnicas de preparo de solo para os cultivos influenciam diretamente a cobertura vegetal, as características do solo e o relevo, e, assim também interferem na maior ou menos perda de solo por erosão (VIEIRA *et al.*, 2000).

3.4 Equação Universal da Perda do Solo (EUPS)

O emprego de instrumentos, como os modelos matemáticos, auxilia na compreensão e avaliação dos processos de erosão hídrica e suas implicações (MATOS, 2015). Conforme Chaves (1994) os modelos matemáticos podem ser empíricos, mecanísticos e estocásticos. A Equação Universal da Perda de solo (EUPS) é um modelo empírico que busca estimar as perdas anuais de solo, ocasionadas por erosão hídrica laminar, a partir da integração de fatores naturais e antrópicos do solo (BORGES, 2009).

A Equação Universal da Perda de solo, também conhecida como USLE (*Universal Soil Loss Equation*), foi proposta por Wischmeier e Smith (1965) e posteriormente teve seus parâmetros melhorados por demais estudiosos. No Brasil, os trabalhos iniciais sobre a equação foram desenvolvidos por Bertoni *et al.* (1975) para o estado de São Paulo. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2010) a EUPS pode servir como guia no planejamento de uso do solo e na determinação das práticas de conservação do solo mais apropriadas para a área.

No entanto, essa equação apresenta algumas limitações, como: não considerar a deposição nos pés da encosta; e não estimar a erosão hídrica concentrada, como ravinas e voçorocas (VALENTIN, 2008). Dessa forma, quando os estudos são realizados em escala regional, os resultados devem ser analisados apenas sob uma perspectiva qualitativa e de forma alguma os valores alcançados podem ser considerados uma estimativa de perdas reais do solo por erosão laminar (STEIN *et al.*, 1987). Pois dessa forma, os valores estariam subestimados.

Apesar dessas limitações, a EUPS é uma das principais referências em estudos de perda de solo por erosão hídrica e tem sido largamente empregada para auxiliar no planejamento e conservação das terras (MATOS, 2015). Os principais estudos da EUPS, desenvolvidos no Brasil e associados com SIG, são os elaborados por Barbosa *et al.* (2015), Borges (2009), Chaves (1994), Costa (2005), Farinasso *et al.* (2006), Fujihara (2002), Lanza (2011), Matos

(2015), Oliveira (2012), Oliveira (2018), Rodrigues *et al.* (2017), Serio *et al.* (2008), Silva (2004), Stein *et al.* (1987), Tomazoni e Guimarães (2005). A seguir será abordado cada um dos fatores que compõem a equação.

3.4.1 Fator R – Erosividade das chuvas

A chuva é considerada o principal agente ativo da erosão hídrica (CREPANI *et al.*, 2008). Para medi-la são utilizados pluviômetros, instrumentos que coletam a água precipitada em um dia, com dimensões padronizadas e pluviógrafos ou pluviômetros automáticos, que registram detalhadamente, os eventos de chuva e sua variação ao longo do dia (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

A água da chuva pode originar vários efeitos, dependendo da sua intensidade, quantidade, duração e frequência (CARVALHO, 1994). É muito importante que se tenha conhecimento sobre a intensidade da chuva, pois quanto mais lento pequenas gotas caírem sobre o solo, mais tempo haverá para que as mesmas sejam absorvidas, enquanto que, se essa mesma quantidade de chuva cair mais rapidamente, formará enxurradas e poderá provocar grandes erosões e inclusive, inundações ao longo de cursos d'água (LEPSCH, 2010).

Dessa forma, o índice ou valor numérico que expressa à capacidade potencial da chuva de provocar erosão laminar em áreas sem proteção é conhecido como erosividade das chuvas (STEIN, 1987). Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2010) quando os demais fatores que provocam a perda de solo por erosão são mantidos constantes, a erosividade é proporcional ao produto da energia cinética total de uma chuva, com intensidade máxima em trinta minutos. Sendo a energia cinética de uma chuva, a soma da energia cinética de todos os intervalos da tormenta (CARVALHO, 1994). Assim, seus valores são dados pela equação de Foster *et al.* (1981):

$$Ec = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (3.1)$$

Onde:

“Ec” é a energia cinética (MJ/ha-mm);

“I” é a intensidade da chuva (mm/h).

Os valores de intensidade máxima em trinta minutos são calculados pelos registros pluviográficos e obtido utilizando-se a equação 3.2:

$$EI30 = Ec . I30 \quad (3.2)$$

Onde:

“EI30” é o índice de erosão (MJ/ha . mm/h);

“Ec” é a energia cinética da chuva;

“I30” é a intensidade máxima de chuva em 30 minutos (mm/h).

Os valores de índice de erosividade de cada chuva, somados individualmente, permitem estimar a erosividade da chuva dentro daquele período. Logo, a soma de todos os valores de EI, de um determinado local, em um período de um ano, determinará o seu valor anual (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

No entanto, o padrão de distribuição das estações meteorológicas no Brasil, em geral, é determinado pelo povoamento. Assim, no norte do país, que possui complicada logística de locomoção, há uma rede de estações meteorológica deficiente, com acúmulo de estações em certas áreas e escassez ou mesmo ausência absoluta em outras (NIMER, 1989). Segundo estudo realizado por Marcuzzo e Melati (2015), esse é um problema que se estende até a região sul do país, que possui rede de monitoramento deficiente tanto em número quanto em distribuição espacial dos postos. Dessa forma, ao observar a escassez ou inexistência de registros de intensidade de chuva em determinados locais, diversos autores tentaram correlacionar o índice de erosão com fatores climáticos de fácil medida (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

Para isso, Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) consideraram os parâmetros precipitação média mensal (r) e precipitação média anual (p) e propuseram a seguinte equação para determinar a erosividade da chuva:

$$R = \sum \left[67,355 \left(\frac{r^2}{p} \right)^{0,85} \right] \quad (3.3)$$

Onde:

“r” é a média do total mensal (mm);

“p” é a média do total anual de precipitação (mm).

3.4.2 Fator K – Erodibilidade do Solo

O solo é agente passivo no processo de erosão hídrica (CREPANI *et al.*, 2008). Diferentes tipos de solos são naturalmente mais resistentes à erosão do que outros, devido a propriedades inerentes do solo (WISCHMEIER; SMITH, 1978). O solo é dividido em horizontes, onde o chamado “Horizonte A” possui enorme importância para a erosão, devido ser mais superficial (varia de 20 a 40 cm e é rica em material orgânico) e está diretamente exposto aos agentes erosivos (CARVALHO, 1994).

O fator erodibilidade pode ser conceituado como o índice relativo às propriedades do solo, que refletem a sua suscetibilidade erosiva (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). Conforme Stein *et al.* (1987) as propriedades do solo que mais influenciam na erodibilidade são as que controlam a velocidade de infiltração, a permeabilidade e a capacidade de absorção de água, além daquelas que possuem resistência às forças de dispersão, abrasão e remoção pelas águas da chuva e enxurradas.

A propriedade física do solo mais importante em relação à erosão é a textura, ou seja, o tamanho das partículas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). Solos com textura arenosa, característica granular, apesar de mais permeáveis, são normalmente mais soltos, devido à baixa proporção de argila, que atua na ligação entre partículas maiores, e por isso são mais facilmente erodidos (VIEIRA *et al.*, 2000). Regiões em que o solo possui textura fina, dificuldades de infiltração e maior coesão entre as partículas terão eventos erosivos de menor severidade (CARVALHO, 1994). Entretanto, segundo Vieira *et al.*, (2000) em terrenos planos, os solos arenosos se mostram menos susceptíveis à erosão, devido a ocorrência de rápida infiltração da água.

A estrutura é o modo como as partículas se arranjam e também interferem na quantidade de solo arrastado pela erosão, portanto, é importante considerar as características do material de agregação das partículas como argilas e propriedades biológicas do solo (VIEIRA *et al.*, 2000).

A permeabilidade determina a maior ou menor capacidade de infiltração da água da chuva. Em geral, solos arenosos são mais permeáveis que os argilosos, devido a porosidade apresentada, entretanto, dependendo da estruturação das partículas, alguns tipos argilosos podem se apresentar mais porosos e permeáveis (SALOMÃO, 2007).

Outro elemento ligado ao solo que interfere na erosão é a matéria orgânica, que permite maior agregação e coesão entre as partículas, proporcionando melhores condições de arejamento e retenção de água (VIEIRA *et al.*, 2000).

A erodibilidade do solo pode ser obtida de forma direta ou indireta. O método direto, corresponde às medidas em campo para a aquisição dos parâmetros, e longo tempo de observação, por isso é considerado um procedimento caro (DEMARCHI; ZIMBACK, 2014). Em virtude disso, pesquisadores tentam relacionar a erosão medida em campo com as características físicas do solo ou uma combinação delas, visando determinar a erosividade do solo de forma indireta (ARRAES *et al.*, 2010).

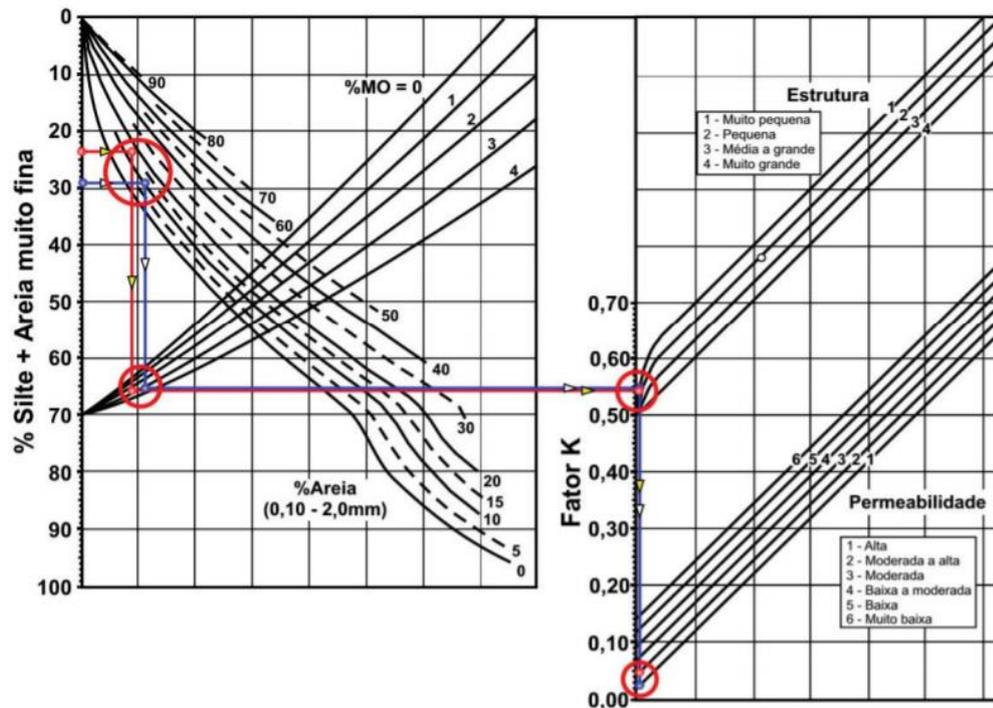
Para Bouyoucos (1935) a erodibilidade do solo é proporcional à seguinte relação:

$$((\%areia + \%silte)/(\%argila))/100 \quad (3.4)$$

Entretanto, conforme Mannigel (2002) a formulação de Bouyoucos não é apropriada para a determinação da erodibilidade em solos que possuem elevados teores de areia + silte ou de argila. Em solo muito arenoso, com teor de areia + silte ultrapassando a 840 g/kg, o fator K é extremamente elevado. Enquanto que em solos com teor de argila acima de 840g/kg, o fator K tende ao valor nulo.

O método mais empregado para a determinação de erosividade do solo é o do nomograma de Wischmeier e Smith (1978) (Figura 8). O modelo permite estimar o fator K de forma gráfica, a partir de atributos do horizonte superficial do solo (granulometria, matéria orgânica, estrutura e permeabilidade). Entretanto, Santos (2013) ressalta que o nomograma foi construído com base em características de solos temperados. Além disso, conforme Lima (2007) esse método não é apropriado para estimativa de erodibilidade em solos com alto teor de argila, pois há uma tendência para subestimação dos valores.

Figura 8 - Nomograma de Wischmeier e Smith.



Fonte: Lima *et al.* (2007).

Denardin (1990) adaptou aos solos brasileiros as equações do nomograma de Wischmeier e desenvolveu uma equação para estimar a erodibilidade a partir de atributos físicos e químicos do solo, conforme equação 3.5:

$$K = 0,00000748.M + 0,00448059.p - 0,0631175.DMP + 0,01039567.r \quad (3.5)$$

Onde:

“M” é a variável calculada a partir de valores granulométricos;

“p” é permeabilidade do perfil de solo;

“DMP” é o diâmetro médio ponderado de partícula menores que 2 mm;

“r” é a relação entre matéria orgânica e areia grossa

Segundo Demarchi e Zimback (2014), Lima *et al.* (2007), e Silva *et al.* (2000), embora os métodos indiretos apresentem resultados estatisticamente diferentes dos valores medidos em campo, o método de Denardin (1990) foi o que mais se aproximou do resultado esperado e por isso é o mais recomendado para a estimativa dos valores de K.

3.4.3 Fator LS – Topográfico

O fator topográfico na erosão hídrica é representado pela integração do comprimento de rampa (L) e da declividade (S) (CARVALHO, 1994). Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2010) o fator LS exerce acentuada influência sobre a perda de solos, onde a quantidade de material transportado por escoamento superficial depende da velocidade com que a água escorre, e essa velocidade é resultante do comprimento da rampa e do grau de declividade do terreno.

O comprimento da rampa é definido como a distância entre o ponto de início do escoamento da água até o ponto onde o declive decresce, ou seja, onde ocorre a sua deposição. É um fator adimensional, porém adota-se a medida em metros, sem a unidade (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

O fator L influencia o comportamento do escoamento superficial e determina a velocidade do fluxo e o seu grau de confluência (VALERIANO, 2008). À medida que o caminho percorrido aumenta, a água vai se avolumando proporcionalmente, acumulando a enxurrada e provocando um aumento progressivo da velocidade de escoamento da água, resultando em maior erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

O comprimento de rampa é a variável com maior dificuldade em ser estimada em ambiente computacional (FARINASSO *et al.*, 2006). Visando a automatização do processo, várias metodologias vêm sendo propostas. Dentre elas, destaca-se o algoritmo desenvolvido por Desmet e Govers (1996), cuja principal fonte de dados é o Modelo Digital de Elevação, em ambiente SIG. Essa formulação emprega propriedades hidrológicas que adequam o cálculo do fator L a relevos complexos (MEDEIROS, 2016). Considera os conceitos de direção do fluxo e de área acumulada, que requer a geração de mapa de fluxo acumulado e simula melhor as condições de fluxo superficial e geometria das vertentes (CARVALHO JUNIOR; GUIMARÃES, 2001; SILVA, 2003). Assim, para cada pixel, calculam-se declividade, direção de fluxo e quantidade de fluxo acumulado a montante daquele pixel (GOMES, 2012). Além disso, conforme Lanza (2011), esse algoritmo permitiu a automatização do cálculo do fator L, tornou o processo mais ágil e eficiente, promovendo maior acurácia na predição do processo erosivo sobre a topografia.

A declividade é definida como o ângulo de inclinação da superfície local em relação ao plano horizontal e pode ser expressa em graus ou em porcentagem (VALERIANO, 2008). Segundo Crepani *et al.*, (2008) a declividade se relaciona diretamente com a velocidade de transformação de energia potencial em energia cinética e, portanto, com a velocidade das

massas de água em movimento. Assim, o volume e a velocidade das enxurradas nos terrenos dependem diretamente do grau de declive (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). Em áreas de elevada declividade, a água pluvial escoar tão rapidamente que não há a ocorrência de infiltração, causando enorme esforço nos terrenos e, conseqüentemente, maior erosão (CARVALHO, 1994). Dessa forma, regiões montanhosas são mais suscetíveis à erosão hídrica (LEPSCH, 2010).

3.4.4 Fator CP – Uso do solo (C) e Práticas Conservacionistas (P)

Ações antrópicas são atividades humanas que interferem diretamente na superfície do solo. Tais ações, interferem na intensidade dos processos erosivos, pois modificam as condições primárias de topografia e cobertura do solo (CARVALHO, 1994). São exemplos de atividade antrópica a agricultura, obras de terraplanagem e desflorestamento.

A sistemática de uso de uma área pode levar a diferentes taxas de perdas do solo, podendo ser maior ou menor, dependendo do grau de proteção ao solo (STEIN, 1987; FARINASSO *et al.*, 2006). Conforme Bertoni e Lombardi Neto (2010) a incidência direta de gotas de chuva em terreno desnudo de vegetação, causam impactos no solo, desprendendo partículas que são facilmente transportadas pela água. Dessa forma, os sistemas agrícolas em um mesmo solo podem ser mais ou menos susceptível, dependendo do tipo de cultivo, já que culturas anuais deixam a superfície mais exposta que cultivos perenes (LEPSCH, 2010). Enquanto em terrenos com densa cobertura vegetal, as gotas de chuva se dividem em inúmeras gotículas, diminuindo sua força de impacto (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

Além disso, a vegetação, ao passar por processos de decomposição, proporciona um aumento na quantidade de matéria orgânica e de húmus no solo, melhorando sua porosidade e capacidade de retenção de água (VIEIRA *et al.*, 2000). Dessa forma, é possível dizer que a cobertura vegetal desempenha função de proteção do solo, devido a sua elevada capacidade de auxiliar no processo de infiltração da água e na diminuição do escoamento superficial (CREPANI *et al.*, 2008).

Práticas conservacionistas são atividades que visam diminuir ou minimizar os processos erosivos, pois buscam promover a máxima infiltração e o menor escoamento das águas pluviais (SALOMÃO, 2007). Assim, essas técnicas são utilizadas para aumentar a resistência do solo e amenizar a força do processo erosivo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). Elas podem ser classificadas em vegetativas, que buscam a proteção do solo com o aumento da sua cobertura

vegetal; edáficas, que melhoram a fertilidade do solo; ou mecânicas, que realizam a conservação do solo com a utilização de máquinas para alteração do relevo (LEPSCH, 2010).

As práticas de caráter vegetativo são bastante efetivas no controle da erosão e têm como princípio a densidade da cobertura vegetal (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). Assim, a erosão do solo é tanto menor, quanto mais densa a vegetação que o recobre. O revestimento vegetativo protege tanto pela interceptação das gotas da chuva como pela diminuição da velocidade de escoamento das enxurradas (LEPSCH, 2010). São exemplos de práticas vegetativas o florestamento e o reflorestamento, formação e manejo de pastagens, quando bem estabelecidas, cultivos em faixa, controle de capinas, uso de plantas de cobertura, cordões de vegetação permanente e cobertura morta.

As práticas de caráter edáfico são frutos de modificações no sistema de cultivo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). Essas medidas, além de auxiliar no controle da erosão, são utilizadas para manter ou melhorar a fertilidade do solo, principalmente quanto à adequada disponibilidade de nutrientes para as plantas (LEPSCH, 2010). Como exemplos de práticas edáficas é possível citar o controle do fogo, adubações (inclusive a calagem) e rotação de culturas.

As práticas de caráter mecânico são medidas artificiais, que utilizam maquinários para modificar o relevo e assim promovem a diminuição na velocidade de escoamento da enxurrada e facilitam a infiltração do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). Em geral são atividades que necessitam de maiores investimentos financeiros, e, geralmente são indispensáveis quando se deseja utilizar com segurança terrenos declivosos (LEPSCH, 2010). Dentre as práticas de mecânicas de conservação, destaca-se a aração, plantio em curva de nível e terraceamento.

Bertoni e Lombardi Neto (2010) enumeraram as principais práticas conservacionistas, utilizadas na agricultura brasileira e seus respectivos valores de fator P (Tabela 1).

Tabela 1 - Valor P para as práticas conservacionistas mais utilizadas no Brasil.

Prática conservacionista	Fator P
Plantio Morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas + plantio em contornos	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (2010).

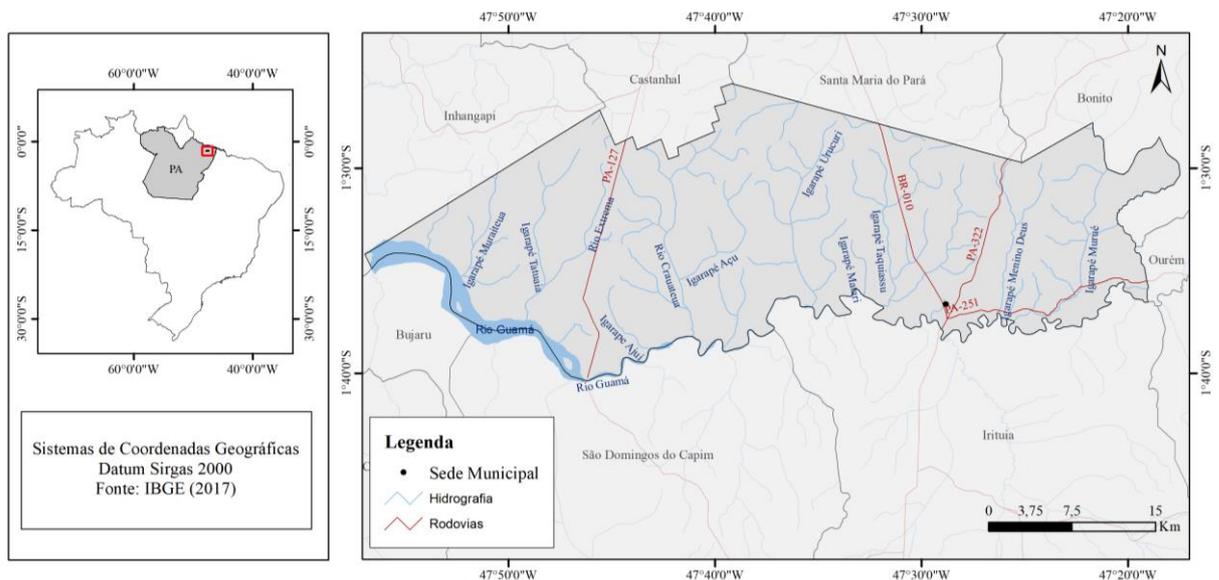
Dessa forma, o fator de uso do solo (C) mede o quanto cada tipo de uso interfere na perda do solo (STEIN *et al.*, 1987). Enquanto o fator práticas conservacionistas (P) mede a influência da aplicação de determinadas práticas de conservação do solo na intensidade de perdas do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). Quando o enfoque do trabalho for a perda de solo por erosão, os dois fatores serão tratados conjuntamente, além disso, devem fornecer indicador numérico de maior ou menor possibilidade de ocorrência de erosão laminar (STEIN, 1987).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área de estudo é o município de São Miguel do Guamá, que está localizado na Mesorregião do Nordeste Paraense e Microrregião do Guamá, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010). São Miguel do Guamá tem como limites ao norte os municípios de Inhangapi, Castanhal, Santa Maria do Pará e Bonito, a leste os municípios de Bonito e Ourém, ao sul os municípios de Irituia, São Domingos do Capim e Bujaru e a oeste o município de Inhangapi (Figura 9).

Figura 9 - Mapa de localização do município de São Miguel do Guamá (PA).



Fonte: Autor.

No Nordeste Paraense o tipo climático varia de Mesotérmico a Megatérmico úmido, peculiar da região Amazônica, e caracteriza-se pela ocorrência de elevadas temperaturas e umidade (CORDEIRO *et al.*, 2017). O regime pluviométrico de São Miguel do Guamá é de aproximadamente 2.250 mm/ano. Cerca de 80% das chuvas se concentram no período de janeiro a junho, com ocorrência de grandes excedentes hídricos, elevado escoamento superficial e, conseqüentemente de cheias dos rios (FAPESPA, 2016).

Os solos deste território são classificados como: Latossolo Amarelo distrófico, textura média; Concrecionário Laterítico indiscriminado distrófico, textura indiscriminadas; Areia Quartzosa distrófico, textura indiscriminadas, e hidromórfica indiscriminada (HUFFNER, 2015).

O município possui topografia com pouca amplitude altimétrica e cotas que variam de 73 metros de máxima a 10 metros de mínima. Estando a sede municipal a cerca de 20 m acima do nível do mar (FAPESPA, 2016).

A geologia encontrada na maior extensão do município é relacionada ao Grupo Barreiras, constituído por arenitos com estratificação cruzada tabular, além de conglomerados e pelitos, representantes de ambientes continentais e transicionais (fluvial/leques aluviais, lagos e planície de maré) (ALMEIDA, 2000). Há também a presença do Arenito Guamá, unidade sedimentar peculiar do Nordeste Paraense, que possui como característica a presença de quartzo arenitos, com granulometria de fina a média, silicificados de cor branca e ricos em icnofósseis (VASQUEZ *et al.*, 2008). Na margem do rio Guamá há a presença de coberturas Holocênicas, com sedimentos recentes inconsolidados, de ambientes costeiros ou continentais, representados por areias (fluviais, de praia e eólicas), cascalhos fluviais e pelitos laminados (planície de maré e de inundação, lagos) (ALMEIDA, 2000).

Nesta região há abundância de recursos hídricos, com inúmeros rios e igarapés (CORDEIRO *et al.*, 2017). O rio Guamá é o mais importante, e sua margem direita abriga o município de São Miguel do Guamá, seus principais afluentes são os Igarapés Cuperé, Muraiteua, Matupireteua, Ajuai, Crauteua, Aracuí, Urucuri, Matari, Itaquí-Açu, Menino-Deus, São João; e rio Mururé (FAPESPA, 2016).

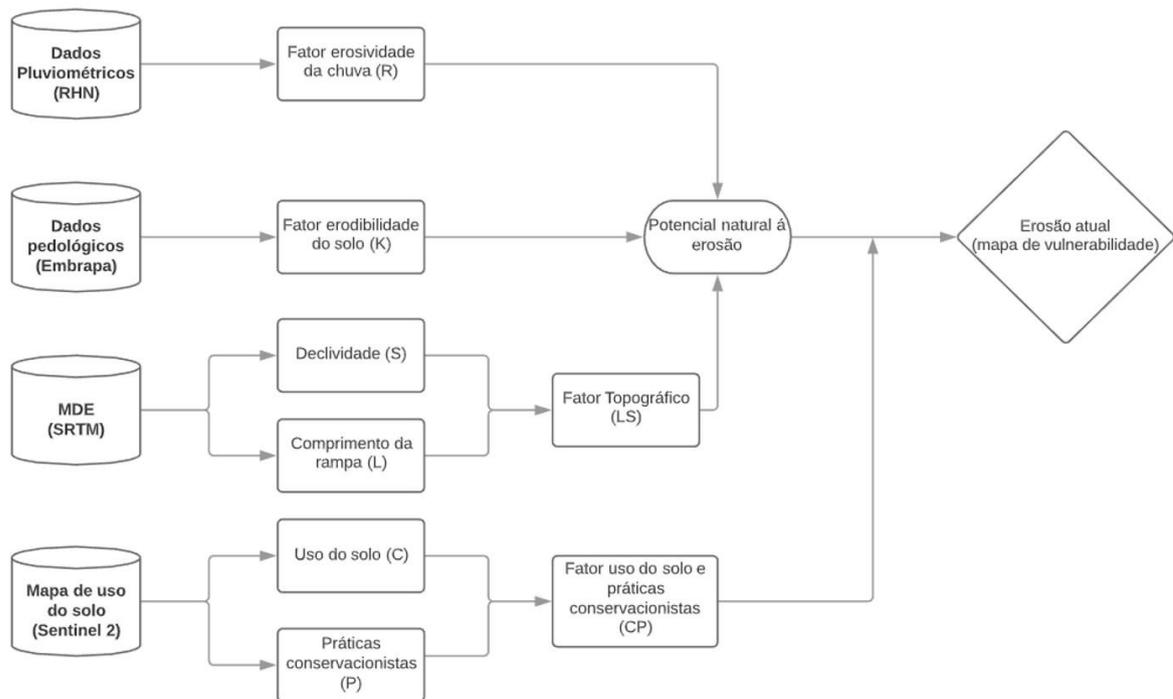
A mesorregião Nordeste Paraense é historicamente marcada por processos de desmatamento, que modificaram a fisionomia vegetal original, decorrente do modo de ocupação e uso da terra (CORDEIRO *et al.*, 2017). Conforme dados de 2013 do INPE/PRODES, cerca de 79% da área municipal se encontra alterada (SEPLAN, 2015). Em decorrência disso, atualmente, a vegetação do município é composta predominantemente por Florestas Secundárias, com eventuais testemunhos da mata primária, geralmente nas áreas marginais do rio Guamá e de seus afluentes, cujos subtipos originais pertencem à Floresta Densa dos Baixos Platôs e Floresta Densa dos Terraços Aluviais (TORRES, 2007).

As principais atividades econômicas de São Miguel do Guamá estão concentradas nos setores da indústria (produção oleiro-cerâmica), agricultura, pecuária, comércio, extrativismo vegetal (carvão vegetal e lenha) e aglomerados minerais para a construção civil (LEITE *et al.*, 2018). Conforme o Mapa de Recursos Minerais do Estado do Pará, o município tem potencial para a exploração extrativista de materiais como areia e argila (VASQUEZ *et al.*, 2008).

4.2 Metodologia

O processamento dos dados foi realizado com o auxílio dos programas ArcGis 10.2 e Envi 4.8, com autorização da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM que concedeu licença dos programas para o desenvolvimento deste trabalho. Foram utilizados arquivos vetoriais dos limites político administrativo, hidrografias e estradas, obtidos no acervo online do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; arquivos vetoriais dos dados pedológicos, obtidos no site da Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária – EMBRAPA; arquivos raster do satélite Sentinel 2 e de dados SRTM, obtidos no diretório de dados Earth Explorer, da United States Geological Survey – USGS (Figura 10)

Figura 10 - Fluxograma metodológico



Fonte: Autor.

Para realizar a estimativa de perda de solo por erosão, foi utilizada a Equação Universal de Perda do Solo. A EUPS foi aplicada em escala regional, logo seus resultados foram analisados sob uma perspectiva qualitativa da erosão hídrica laminar, fornecendo a espacialização das áreas com a estimativa de seus respectivos graus de susceptibilidade erosiva. A EUPS calcula a perda de solo (A) a partir da integração de fatores naturais e antrópicos, sendo expressa pela seguinte equação:

$$A = R . K . L . S . C . P \quad (4.1)$$

Onde:

“A” é a perda de solo laminar em t/ha.ano;

“R” é o fator de erosividade das chuvas em Mj.mm/ha.h.ano;

“K” é o fator de erodibilidade do solo em t.h/Mj.mm;

“L” é o fator comprimento de rampa (adimensional);

“S” é a declividade (adimensional);

“C” é o fator uso e manejo (adimensional);

“P” é o fator práticas conservacionistas (adimensional).

4.2.1 Fator R – Erosividade das chuvas

Para o cálculo do Fator R foram utilizados 30 anos de registros pluviométricos, ou seja, de jan/1988 a dez/2018, de 06 estações da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN): Acará, Colônia Santo Antônio, Fazenda Juará, Igarapé-açu, Ourém, Santa Isabel do Pará. As estações escolhidas foram capazes que cobrir toda a área municipal de São Miguel do Guamá. Os dados de precipitação foram obtidos na Plataforma de Dados Hidroweb (http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf).

Priorizou-se pelo uso de dados de chuva classificado, na Plataforma Hidroweb, com nível de consistência 2, ou seja, dados já analisados e consistidos. No entanto, de 2005 a 2018 os dados apresentaram nível de consistência classificado como 1, ou seja, dados brutos. Dessa forma, antes do processamento dos dados pluviométricos, foram executadas análises para verificar a qualidade e homogeneidade do banco de dados. Essas análises incidiram sobre: detecção de erros grosseiros; preenchimento de falhas e consistência mensal dos dados; e verificação da homogeneidade dos dados.

Para detecção de erros grosseiros foram analisados os boletins pluviométricos originais, a fim de obter informações sobre a existência de problema nas leituras dos dados, como valores estimados pelo observador, erros de anotações ou danificação do aparelho de medição.

Ao longo do período de monitoramento pluviométrico é possível a ocorrência de períodos sem informações ou com falhas nas observações. Por isso foi realizada análise de consistência dos dados brutos, baseada na comparação entre as informações da estação em análise com as estações de apoio, que permitiu identificar, corrigir erros e preencher as falhas existentes nas séries históricas (BERTONI; TUCCI, 2001).

Para a realização da análise de consistência mensal foi utilizado o software Hidro-Plu 2010, programa de homogeneização de dados pluviométricos, desenvolvido pela ANEEL, que utiliza a formulação matemática desenvolvida por Holanda e Oliveira (1979) e o método de regressão linear múltipla. O software critica os totais mensais da estação em análise, quando incompatíveis com as estações de apoio e sugere novos valores para a substituição dos dados inconsistentes ou preenchimento de falhas (MACHADO; FURTUNATO; PINTO, 2011). Nesta análise foram utilizadas as médias de longo período, que compara os dados de todos os meses da série, e os parâmetros de calibração recomendados para a Região Amazônica, são eles: $G1=1,5$; $G2=1,4$ e $G5=0,5$.

Como o município de São Miguel do Guamá se enquadra na categoria de relevo plano e interiores, a World Meteorological Organization – WMO (2008) recomenda que a densidade mínima de estações de monitoramento pluviométrico seja de uma estação pluviométrica a cada 25 km². No entanto, como essa não é a realidade da Região Amazônica, para cada estação a ser consistida foram escolhidas no mínimo 2 e no máximo 9 estações de apoio, com distância máxima de 80 km e grau de relacionamento (correlação) mínimo de 0,70 (Figura 11). A Tabela 2 mostra os dados das estações trabalhadas.

Figura 11 – Tela do Software Hidroplu para a seleção das estações de apoio da estação Colônia Santo Antônio.

The screenshot displays the Hidro-PLU software interface. The main window is titled "Sub-bacia 31". The interface includes a menu bar with "Banco de Dados", "Exibir", "Campo de visão", "Ferramentas", and "Ajuda". Below the menu bar, there are navigation icons and coordinate fields showing Latitude: -4.0252 and Longitude: -44.6539. On the left side, there is a legend titled "Entidades:" with a list of entities and their corresponding symbols. The "ANA" entity is checked. Below the legend are buttons for "Marca Todas" and "Desmarcar Todas", and a checkbox for "Hidrografia". The central part of the interface is a map showing a yellow shaded area representing the sub-bacia. A central station is marked with a white triangle, and a circular area around it is shaded with a green grid pattern. Numerous blue dots represent support stations scattered around the central station. On the right side, there is a panel for "Estação Principal" with fields for "Código:" (147011), "Nome:" (COLÔNIA SANTO ANTÔNIO), "Município:" (IRITUIA), "Entidade Responsável:" (ANA), "Latitude:" (-1.6719), "Longitude:" (-47.4964), "Última Atualização:" (03/09/2019), "Início dados:" (06/1982), and "Fim:" (05/2019). Below this, there is a section for "Estações de Apoio:" with a "Raio:" of 80 Km and a "Selecionar" button. A table lists the support stations with their codes and names. At the bottom right, there is a "Total de Estações Selecionadas: 10" and a "Período em análise" section with "Início:" (Jan de 1988) and "Fim:" (Dez de 2018). Buttons for "Relatório", "Calcular", and "Sair" are located at the bottom.

Entidades:

- ANA
- INMET
- DNDS
- CODEVASF
- SUDENE
- DAEE-SP
- SUDERHSA
- DNOCS
- OUTROS

Sub-bacia 31

Estação Principal

Código: 147011

Nome: COLÔNIA SANTO ANTÔNIO

Município: IRITUIA

Entidade Responsável: ANA

Latitude: -1.6719 Longitude: -47.4964

Última Atualização: 03/09/2019

Início dados: 06/1982 Fim: 05/2019

Estações de Apoio:

Raio: 80 Km Selecionar

Nível de Consistência dos dados a serem utilizado nos cálculos:

Bruto Consistido

146011	SANTA LU
147002	CAPANEMA
147007	CASTANHA
147008	SÃO DOMI
147010	IGARAPÁI
147016	OUJEM
147018	SANTA MA
147019	NOVA TIM
148017	BUJARU
247003	FAZENDA

Total de Estações Selecionadas: 10

Período em análise

Início: Jan de 1988

Fim: Dez de 2018

Relatório Calcular Sair

Fonte: Adaptado de HidroPlu (2019).

Tabela 2 - Estações utilizadas na análise de consistência dos dados pluviométricos.

CÓDIGO	ESTAÇÃO ANALISADA	ESTAÇÕES DE APOIO	DISTÂNCIA (m)	CORRELAÇÃO
147011	COLÔNIA SANTO ANTÔNIO	147008 São Domingos do Capim	30,4	0,85
		147016 Ourém	44,2	0,84
		147010 Igarapé-açu	61,7	0,82
		147002 Capanema	62,9	0,80
		146011 Santa Luzia do Pará	67,8	0,81
		247003 Fazenda Juará	47,9	0,79
148009	ACARÁ	248001 Fazenda Urucuré	73,6	0,73
		247008 Acampamento Mendes Jr	58,6	0,72
		247003 Fazenda Juará	52,6	0,72
		247000 Badajós	78,6	0,72
		248003 PA Rio Acará Mirim	51,5	0,71
		147008 São Domingos do Capim	57,8	0,71
147016	OURÉM	147011 Colônia Santo Antônio	44,2	0,84
		146010 Emboraí	66,0	0,82
		047004 Primavera	69,2	0,82
		147008 São Domingos do Capim	73,8	0,80
		147002 Capanema	39,3	0,8
		146005 Tararuá-ponte	61,1	0,83
147010	IGARAPÉ AÇU	048006 Vigia	61,1	0,85
		047004 Primavera	63,0	0,83
		147011 Colônia Santo Antônio	61,7	0,82
		047002 Salinópolis	64,3	0,82
		147002 Capanema	50,7	0,81
		047005 Marudá	55,5	0,79
247003	FAZENDA JAUARÁ	00247000 Badajós	53,9	0,82
		248003 PA Rio Acará Mirim	71,2	0,82
		248003 Tomé-açu	63,1	0,81
		147008 São Domingos do Capim	39,1	0,8
		147011 Colônia Santo Antônio	47,9	0,79
		148017 Bujaru	65,9	0,76
148003	SANTA ISABEL	048006 Vigia	48,1	0,79
		148017 Bujaru	28,6	0,78
		147008 São Domingos do Capim	61,5	0,77
		148012 Mosqueiro	33,8	0,75
		147010 Igarapé açu	63,0	0,75
		147017 Terra Alta	40,5	0,74

Fonte: Adaptados de Hidro Plu (2019).

Após a análise de consistência foi comprovado o grau de homogeneidade dos dados de todas as estações. Para isso, foi adotado o método da Dupla Cumulativa ou Dupla Massa, que consiste em um gráfico cartesiano, onde no eixo y (ordenadas) são plotados os valores acumulados do posto em análise e no eixo x (abscissas) o acumulado da média aritmética dos totais anuais dos postos de apoio (ANA, 2011).

Após o processamento dos dados pluviométricos mensais, foram calculados os valores de erosividade média em cada estação, para avaliar a capacidade e o potencial da chuva em causar erosão no solo, conforme equação 4.2, proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), citada anteriormente e repetida para simplificar a leitura do trabalho.

$$R = \sum \left[67,355 \left(\frac{r^2}{p} \right)^{0,85} \right] \quad (4.2)$$

Onde:

“r” é a média do total mensal (mm);

“p” é a média do total anual de precipitação (mm).

Para a espacialização dos dados de erosividade das chuvas foi realizada a interpolação dos valores do fator R de cada estação, conforme Bertoni e Lombardi Neto (2010), utilizando o interpolador linear Spline, da extensão Spatial Analyst, do ArcGis. Como resultado obteve-se um arquivo raster de curvas iso-erodentes, utilizado na geração do mapa de perdas de solo.

4.2.2 Fator K – Erodibilidade do Solo

Para a confecção do mapa de erodibilidade, foi utilizada a base de dados vetoriais, elaborada pela Embrapa Amazônia Oriental, com informação e localização dos tipos de solo, presentes no município de São Miguel do Guamá. Os dados foram disponibilizados em 2016 e fazem parte do Mapas de Solos e de Aptidão Agrícola das áreas alteradas do Estado Pará, com escala de 1:250.000.

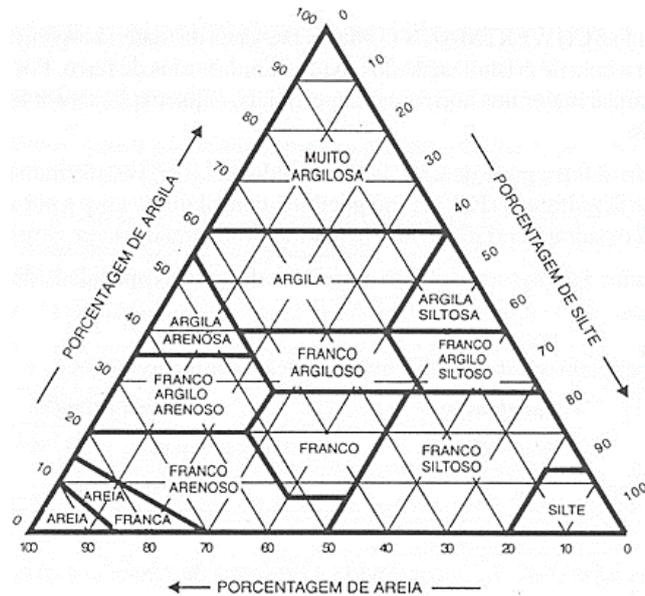
As informações dos parâmetros físico-químicos de cada tipo de solo, presentes no município, foram obtidas em estudo do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte, que descreve os solos da região Bragantina (FALESI *et al.*, 1967) (Tabela 3). Enquanto a textura do solo foi determinada com base no triângulo textural (Figura 12), desenvolvido por Lemos e Santos (1996), que utiliza os valores das frações areia, silte e argila de uma amostra de solo.

Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos do solo em São Miguel do Guamá.

Tipos de solo	Sigla	Profundidade (cm)	Classe Textural	Granulometria (%)				Matéria Orgânica (g/100g)	Permeabilidade
				% Areia Grossa	% Areia Fina	% Silte	% Argila		
Gleissolo Háplico Tb Distrófico Típico	GXbd	0-38 (A)	Argilosa	12	11,2	26,4	50,4	1,03	Muito lenta (1)
Latossolo Amarelo Distrófico Típico e argissólico	LAd41	0-15 (Ap)	Arenosa	43,56	48,26	0,81	7,37	1,84	Rápida (6)
		15-30 (A3)	Areia Franca	31,07	51,8	2,44	14,69	1,10	Moderada a rápida (5)
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico	LVAd 14	0-10 (A11)		6,67	69,36	9,09	14,88	2,02	Moderada a rápida (5)
		10-21 (A12)	Franco arenosa	45	33,7	3,27	18,03	1,39	
		21-47 (A3)		24,58	52,48	9,83	13,11	0,79	
Neossolo Quartzarênico Hidromorfo Típico	RQg	0-5 (A11)		33,7	63,87	0,81	1,62	1,27	Rápida (6)
		5-15 (A12)	Arenosa	42,29	54,47	1,62	1,62	1,12	

Fonte: Falesi *et al.* (1967). Elaborada pelo autor (2019).

Figura 12 – Triângulo textural do do solo.



Fonte: Lemos e Santos (1996).

Para a obtenção do Fator K foram utilizadas somente as características do Horizonte A, mais superficial. Sendo o fator K do Horizonte A, dado pela média aritmética dos sub-horizontes.

Para o cálculo do fator K foi utilizada formulação elaborada por Denardin (1990), que estima a erodibilidade a partir dos atributos físico-químicos do solo conforme equação 3.5, que será repetida abaixo para melhor detalhamento.

$$K = 0,00000748.M + 0,00448059.p - 0,06311750.DMP + 0,01039567.r \quad (4.5)$$

Onde:

“M” é a variável calculada a partir de valores granulométricos, conforme equação 4.3;

“p” é permeabilidade do perfil de solo (tabela 4);

“DMP” é o diâmetro médio ponderado de partículas menores que 2 mm, conforme equação 4.4;

“r” é a relação entre matéria orgânica e areia grossa, conforme equação 4.5

$$M(\%) = (areia\ fina + silte) \cdot ((areia\ fina + silte) + areia\ grossa) \quad (4.3)$$

Tabela 4 - Classificação quanto à permeabilidade do solo.

Classe textural	Permeabilidade	Classe de permeabilidade
Muito Argilosa, Argilosa e Argilo-Siltosa	Muito lenta	1
Franco-Argilo-Siltosa e Argilo-Arenosa	Lenta	2
Franco-Argilo-Arenosa e Franco-Argilosa	Lenta a moderada	3
Franca, Franco-Siltosa e Siltosa	Moderada	4
Areia-Franca e Franco-Arenosa	Moderada a rápida	5
Arenosa	Rápida	6

Fonte: Denardin (1990).

$$DMP = \frac{(0,65 \cdot \text{areia grossa}) + (0,15 \cdot \text{areia fina}) + (0,0117 \cdot \text{silte}) + (0,00024 \cdot \text{argila})}{100} \quad (4.4)$$

$$r = \frac{\% \text{ matéria orgânica} \cdot \% \text{ areia grossa}}{100} \quad (4.5)$$

Após a obtenção do fator K, utilizou-se a função Raster Calculator, da extensão Spatial Analyst, do ArcGis, para gerar o mapa de erodibilidade do município de São Miguel do Guamá, onde cada tipo de solo recebeu seu respectivo valor de erodibilidade.

4.2.3 Fator LS – Topográfico

O Fator LS foi calculado computacionalmente, com base no Modelo Digital de Elevação (MDE), proveniente da missão Shuttle Radar Topography Mission – SRTM 1 Arc-Second Global, desenvolvida pela NASA e com resolução espacial de 30 m x 30 m. A manipulação do MDE foi realizada com auxílio do software Arcgis 10.1.

Antes de proceder ao cálculo do fator topográfico, foi realizada a reamostragem da imagem SRTM, de 30 m para 10 m, utilizando a função Resample, da extensão Data Management Tools. Inicialmente o processamento da imagem, consistiu na correção de falsas depressões ou depressões espúrias, utilizando-se o comando Fill da extensão Spatial Analyst. Posteriormente utilizou-se as funções Flow Direction e Flow Accumulation, da extensão Spatial Analyst Tools, para calcular respectivamente a direção do fluxo e a quantidade de fluxo acumulado a montante daquele pixel.

Para determinar o fator de comprimento de vertente foi empregada a equação desenvolvida por Desmet e Govers (1996):

$$L_{ij} = \frac{[(A_{ij-in} + D^2)^{m+1} - (A_{ij-in})^{m+1}]}{[D^{m+2} \cdot x_{ij}^m \cdot (22,13)^m]} \quad (4.6)$$

Onde:

“ L_{ij} ” é o fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i,j) (adimensional);

“ $A_{i,j-in}$ ” é a área de contribuição da célula em coordenadas (i,j) (m²). Determinada pelo produto do fluxo acumulado com a área de cada célula;

“ D ” é o tamanho da célula em metros;

“ x_{ij} ” é o coeficiente para grade de célula em coordenadas (i,j). Obtido pela equação 3.7;

“ m ” é o coeficiente que assume os valores: 0,5, se $s \geq 5\%$ (s é o grau de declividade); 0,4, se $3\% \leq s < 5\%$; 0,3, se $1\% \leq s < 3\%$; e 0,2, se $s < 1\%$.

A variável “ A_{ij-in} ” foi determinada pelo produto entre o fluxo acumulado e a área de cada célula (100 m²). O tamanho da célula (D), foi definido como 10 m, conforme o tamanho do pixel da imagem reamostrada. Enquanto o coeficiente “ x_{ij} ” foi calculado em função da direção do fluxo e obtido seguindo a equação 4,7:

$$x = \text{sen} \alpha + \text{cos} \alpha \quad (4.7)$$

Onde:

“ α ” é a direção do fluxo na vertente.

O fator de declividade (S) foi obtido seguindo a equação da metodologia de Wischmeier e Smith (1978), onde a declividade (s) foi determinada por meio da função Slope do software ArcGIS:

$$S = 0,00654 \cdot s^2 + 0,0456 \cdot s + 0,065 \quad (4.8)$$

Onde:

“ S ” é o fator de declividade (adimensional);

“ s ” é a declividade média da vertente (%).

A partir disso, o Fator LS foi calculado utilizando a equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2010), que permite calcular a perda média de solo para os variados comprimentos de rampa e graus de declive, conforme equação abaixo:

$$LS = 0,00984 \cdot C^{0,63} \cdot D^{1,18} \quad (4.9)$$

Onde:

“LS” é o Fator Topográfico;

“C” é o comprimento da rampa (m);

“D” é grau de declive (%).

4.2.4 Fator CP – Uso do solo (C) e Práticas Conservacionistas (P)

O Fator C está relacionado ao uso do solo e varia ao longo dos anos, conforme mudanças na forma e intensidade desse uso. (BORGES *et al.*, 2012).

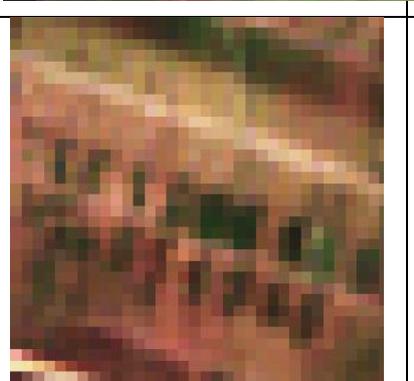
O mapa de uso do solo foi elaborado com o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto. Foram utilizadas duas imagens orbitais, obtidas pelo sensor Multispectral Instrument (MSI), instalado a bordo do satélite Sentinel-2. As imagens foram adquiridas através de consulta ao diretório do U.S. Geological Survey (USGS), que as disponibiliza gratuitamente para download. As cenas escolhidas (22 MHD e 23 MKU) são datadas do 28/10/2018, pois optou-se por cenas recentes e com a presença mínima de nuvens (aproximadamente 2,5%). Estas possuem nível 1C de processamento, ou seja, apresentam-se geometricamente corrigidas (ortoretificadas).

Foram utilizadas as bandas 2, 3, 4 e 8, de 10 m de resolução e as bandas 5, 6, 7, 08A, 11 e 12, com resolução de 20 m. Nas últimas, foi realizada a reamostragem dos pixels para compatibilizar todas as bandas em uma mesma resolução. Foi realizado o processo de correção atmosférica, para minimizar a influência dos fatores que compõem a atmosfera terrestre. Utilizou-se o método DOS1 (Dark Object Subtraction 1) por meio da ferramenta Semi Automatic Classification Plugin (SCP) do software Quantum Gis.

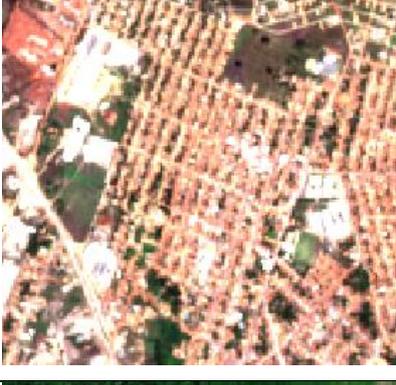
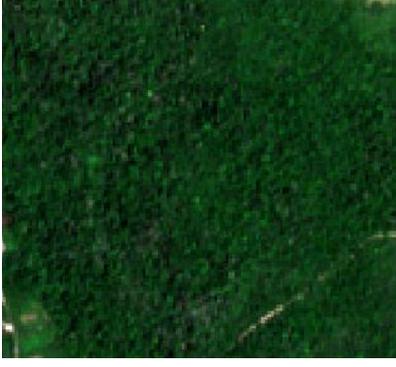
Utilizando o Software Envi 5.1 foi elaborado o mosaico das cenas e seu recorte, considerando o limite municipal de São Miguel do Guamá, além da composição colorida falsa-cor RGB483 e da classificação da imagem.

O mapa de uso do solo foi obtido a partir de classificação semi-automática. Inicialmente realizou-se a Classificação Supervisionada da imagem, do tipo pixel-pixel, pelo método da Máxima Verossimilhança (MAXVER). Onde foram estabelecidas áreas de treinamento, para cada uma das classes, fundamentadas no conhecimento prévio da área de estudo, na interpretação visual da imagem e na coleta de dados “in loco” (Quadro 1).

Quadro 1 - Chave de interpretação de imagem e caracterização das classes mapeadas.

Classes	Imagem de satélite	Fotografia de campo	Descrição
Água			Classe composta por corpos hídricos, como rios, igarapés, lagos e reservatórios (IBGE, 2013a).
Campos			Constituído por vegetação arbustiva/herbácea natural ou introduzida. Geralmente se estabelecem em áreas planas, sujeitas a alagamentos (SANTOS JUNIOR; COSTA, 2017).
Cultivos Permanentes			Cultivos cuja produção apresenta longa duração (IBGE, 2013a).
Cultivos Temporários			Cultivo cuja produção apresenta curta ou média duração, com ciclo vegetativo menor que um ano (IBGE, 2013a).

Estágio Inicial de Regeneração			<p>Vegetação herbácea/arbustiva, cobertura aberta ou pouco fechada. Apresenta altura média de até 5 metros e idade entre 0 a 10 anos (SANTOS JUNIOR; COSTA, 2017).</p>
Lago de Mineração			<p>Áreas de exploração mineral abandonadas, que geralmente acumularam água das chuvas com o passar do tempo.</p>
Extração mineral			<p>Áreas com solo bastante revolvido, de onde são extraídos produtos de interesse mineral (IBGE, 2013a).</p>
Pastagem			<p>Vegetação herbácea rasteira, formada a partir do plantio de plantas forrageiras ou da melhoria de pastagens naturais (SANTOS JUNIOR; COSTA, 2017).</p>

<p>Reflorestamento</p>			<p>Plantios de espécies florestais nativas ou exóticas (IBGE, 2013a).</p>
<p>Solo exposto</p>			<p>Áreas onde a cobertura vegetal foi totalmente removida e o solo encontra-se desprotegido e exposto às intempéries (SANTOS JUNIOR; COSTA, 2017).</p>
<p>Urbanização</p>			<p>Áreas de concentração do núcleo populacional, onde há estrutura urbana adensada (SANTOS JUNIOR; COSTA, 2017).</p>
<p>Vegetação</p>			<p>Categoria onde há a presença de cobertura vegetal arbóreas, com porte superior a 5 m (IBGE, 2013a).</p>

Fonte: Autor.

Nessa etapa foram observadas ocorrências de confusões temáticas, principalmente entre as classes cultivos permanentes, estágio inicial de regeneração, cultivos temporários e solo exposto, que além de apresentarem respostas espectrais e espaciais similares, possuem áreas pequenas e isoladas, em decorrência da produção agrícola de pequeno porte no município. Assim, a resolução espacial da imagem Sentinel (10 m), aliada ao tamanho dos polígonos dessas classes, favoreceram a ocorrência de erros, devido à dificuldade em definir o limite exato entre as classes, que avançavam umas sobre as outras.

Durante a etapa do pós-processamento foi utilizado o software ArcGis 10.2. Nessa fase foram corrigidos os erros da classificação automática, que foi comparada às imagens de alta resolução do Google Earth Pro. Dessa forma, os polígonos classificados erroneamente foram editados e corrigidos manualmente. Além disso, ainda devido conflitos de reflectância, as áreas de culturas permanentes (plantios de dendê), campos e lagos de mineração foram delimitadas manualmente, utilizando as imagens do Google Earth Pro. As classes nuvens e sombras foram caracterizadas por apresentar ausência de informação espectral dos alvos encobertos.

A última etapa para a elaboração do mapa de uso do solo consistiu na validação deste, onde foi realizada visita de campo no município de São Miguel do Guamá e coletados pontos amostrais de controle das diversas classes de uso do solo. Após a comparação dos pontos amostrais coletados em campo com os pontos classificados no mapa, obteve-se o mapa final de uso do solo.

Definido o mapa de uso do solo, procedeu-se a obtenção do fator C. O fator C varia de 0 a 1, onde solos com bastante proteção vegetal possui valores mais próximo de 0, enquanto solos totalmente desprotegidos, possuem valores mais próximo de 1 (MATOS, 2015). Os valores empregados no trabalho foram propostos por e Costa *et al.* (2009), Stein *et al.* (1987), Tavares (2001), Tomazoni e Guimarães (2005) e adaptados para o município de São Miguel do Guamá (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores de fator C para os diferentes tipos de uso do solo.

Uso	Pesos C	Autores
Água	0,00	Stein <i>et al.</i> (1987)
Campos	0,01	Stein <i>et al.</i> (1987)
Cultivo permanente	0,25	Stein <i>et al.</i> (1987)
Cultivo temporário	0,20	Stein <i>et al.</i> (1987)
Estágio inicial de regeneração	0,25	Stein <i>et al.</i> (1987)
Extração mineral	1,0	Adaptado de Tavares (2001)
Nuvens e sombra	0,0	Stein <i>et al.</i> (1987)
Pastagem	0,1	Stein <i>et al.</i> (1987)
Reflorestamento	0,003	Tomazoni e Guimarães (2005)
Solo exposto	0,5	Adaptado de Tavares (2001)
Urbanização	0,01	Costa <i>et al.</i> (2009)
Vegetação	0,001	Stein <i>et al.</i> (1987)

Fonte: modificado de Stein *et al.* (1987); Tavares (2001), Tomazoni e Guimarães (2005) e Costa *et al.* (2009).

O mapeamento de uso do solo em São Miguel do Guamá foi realizado em escala regional (1:50.000), a partir da interpretação de imagens e utilizando ferramentas de sensoriamento remoto, que impossibilitaram a obtenção de valores confiáveis de P. Assim, utilizou-se valores estabelecidos por Castro Junior (2008) e Souza e Sobreira (2017), que adaptaram os valores sugeridos por Bertoni e Lombardi Neto (2010), para os diferentes tipos de usos, sendo os valores iguais a 1 referentes a ausência de práticas de conservação do solo (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores de fator P para os diferentes tipos de uso do solo.

Uso	Pesos P	Autores
Água	1,0	Castro Junior (2008)
Campos	1,0	Castro Junior (2008)
Cultivo permanente	0,5	Castro Junior (2008)
Cultivo temporário	0,5	Castro Junior (2008)
Estágio inicial de regeneração	1,0	Castro Junior (2008)
Extração mineral	1,0	Castro Junior (2008)
Nuvens e sombra	0,0	Castro Junior (2008)
Pastagem	1,0	Castro Junior (2008)
Reflorestamento	0,5	Castro Junior (2008)
Solo exposto	1,0	Castro Junior (2008)
Urbanização	1,0	Castro Junior (2008)
Vegetação	0,2	Castro Junior (2008)

Fonte: Castro Junior (2008); adaptados de Bertoni e Lombardi Neto (2010).

Foi efetuado o produto entre os valores do fator C e do fator P, para gerar um único fator. Finalmente, utilizando a função Raster Calculator, da extensão Spatial Analyst do software ArcGIS 10.1, atribuiu-se a cada classe de uso, existente no município, os valores do fator CP (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores de fator CP para os diferentes tipos de uso do solo.

Uso	Pesos CP
Água	0,0
Campos	0,01
Cultivo permanente	0,125
Cultivo temporário	0,1
Estágio inicial de Regeneração	0,25
Extração mineral	1,0
Nuvens e Sombra	0,0
Pastagem	0,1
Reflorestamento	0,0015
Solo exposto	0,5
Urbanização	0,01
Vegetação	0,0002

Fonte: Castro Junior (2008); adaptado de Bertoni e Lombardi Neto (2010).

4.2.4.1 *Trabalho de campo*

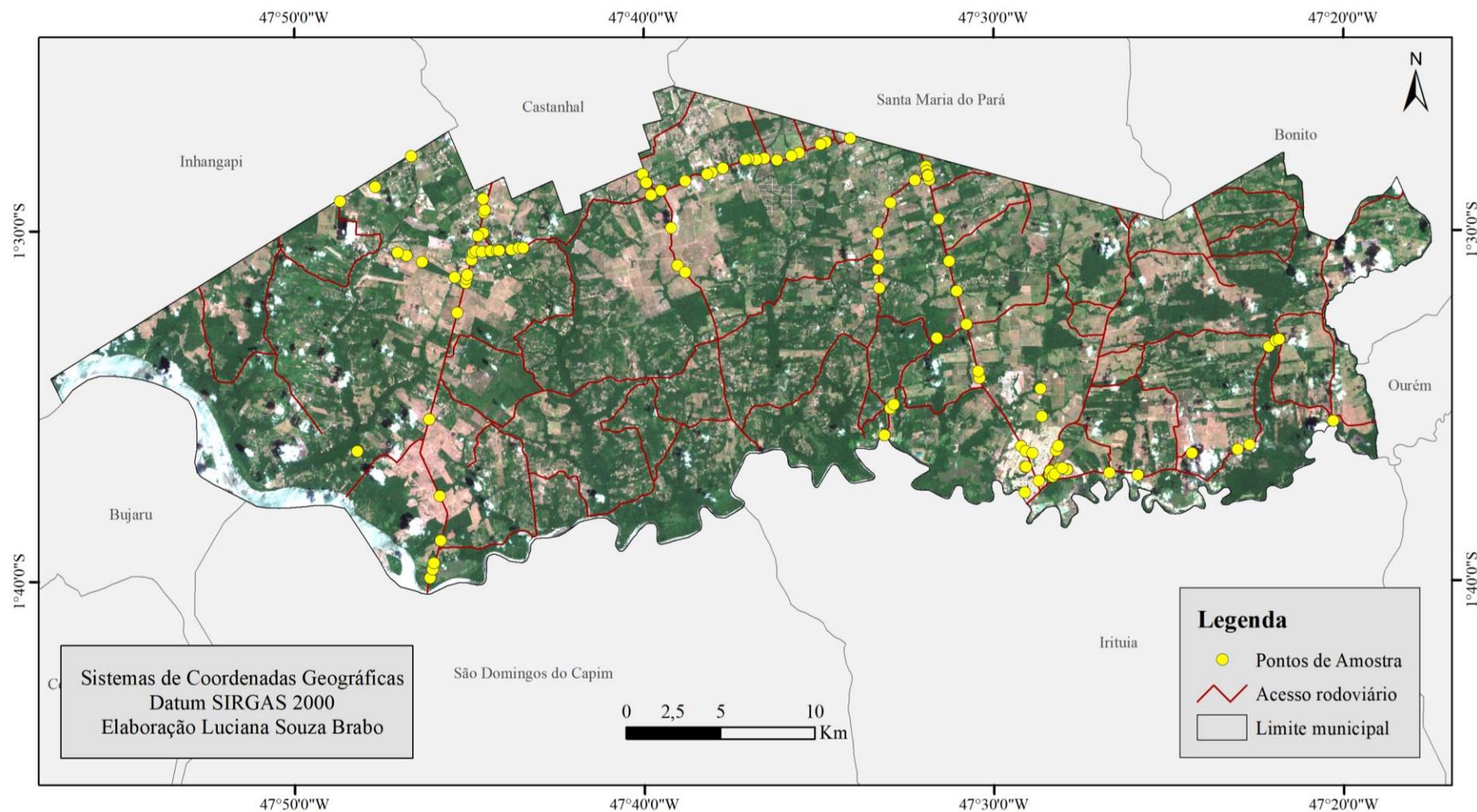
O trabalho de campo teve como objetivo conhecer melhor o município de São Miguel do Guamá e validar a classificação supervisionada, previamente realizada.

Foram realizadas visitas em um total de 115 pontos amostrais, para contemplar todas as classes de uso do solo presentes no mapeamento prévio. Alguns pontos amostrais foram selecionados previamente para visita, por apresentarem características específicas ou por dúvidas relacionadas à identificação de alvos nas imagens de satélite. Buscou-se também visitar os pontos com feições erosivas ativas, mapeados em 2015, pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, durante a setorização de risco geológico, que deu origem ao relatório “Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa”.

Com o auxílio do GPS Portátil Garmin GPSMAP 64, foram coletadas as coordenadas dos pontos amostrais, que forneceram informações relevantes para a pesquisa e, com auxílio da câmera Nikon Coolpix AW130, foi realizado registro fotográfico (Figura 13). Nesses pontos foram verificadas as concordâncias entre o uso classificado no mapa prévio e o uso real.

Devido às dificuldades encontradas durante o trabalho de campo, como precariedade na infraestrutura em geral, dificuldades de locomoção em carro de passeio, estradas de difícil acesso e interdição de estradas por manifestação de moradores, as coletas concentraram-se apenas em estradas principais e de melhor acesso.

Figura 13 - Pontos amostrados em trabalho de campo em São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

4.3 Mapas de erosão potencial (EP) e erosão atual (EA)

Para avaliar a susceptibilidade erosiva no município de São Miguel do Guamá foram elaborados dois mapas, sendo eles o de Potencial Natural à Erosão Laminar (PNE) e o de Erosão Atual (EA). Os mapas foram estimados utilizando a função Raster Calculator, da extensão Spatial Analyst, do ArcGis, onde foram realizados os produtos fatores, conforme descrição a seguir.

De acordo com a metodologia proposta por Borges (2009), o mapa de Potencial Natural à Erosão Laminar (PNE) foi utilizado para avaliar a interferência dos principais fatores naturais do meio físico no processo de erosão hídrica laminar. Para a sua elaboração foi realizado o produto entre os fatores R, K, L e S da EUPS, e considerado o pior cenário possível para a área de estudo, com solo completamente exposto, sem qualquer tipo de cobertura vegetal ou emprego de práticas conservacionistas.

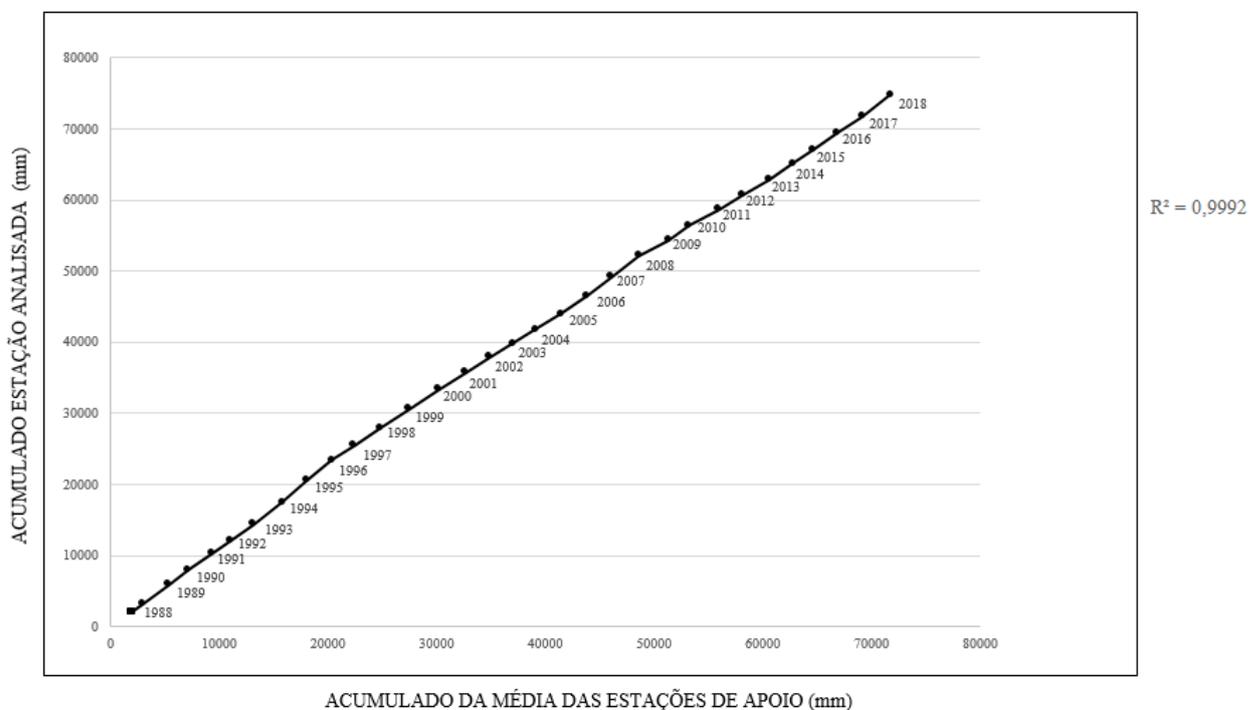
Enquanto que o mapa de erosão atual (EA) foi utilizado para avaliar a influência antrópica associada ao uso do solo e obtido pelo produto de todos os fatores da EUPS, ou seja, de R, K, L, S e CP.

5. RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 Fator R – Erosividade das chuvas

Na análise de consistência dos postos pluviométricos verificou-se que as Curvas Dupla Massa de todos os postos analisados seguem um mesmo padrão, conforme exemplo de Fazenda Juará (Figura 14), com valores proporcionais aos observados nas estações de apoio, onde os pontos alinharam-se em uma única reta. Resultados similares foram obtidos por Machado; Furtunato; Pinto (2011), em que a não ocorrência de mudança brusca na direção da reta, demonstrou ausência de anormalidades nos dados da estação em análise.

Figura 14 - Curva Duplo Cumulativa ou Dupla Massa da estação Fazenda Juará.



Fonte: Autor.

No período de 1988 a 2018, as estações do entorno do município de São Miguel do Guamá apresentaram precipitação total média variando entre 2180,5 e 2883,1 mm. Sendo que os meses fevereiro, março, abril e maio foram os que apresentaram maior pluviosidade média, com 57,2% das chuvas ocorridas, enquanto que os meses agosto, setembro, outubro e novembro foram os de menor pluviosidade média mensal, com 12,4 % das chuvas ocorridas (Tabela 8).

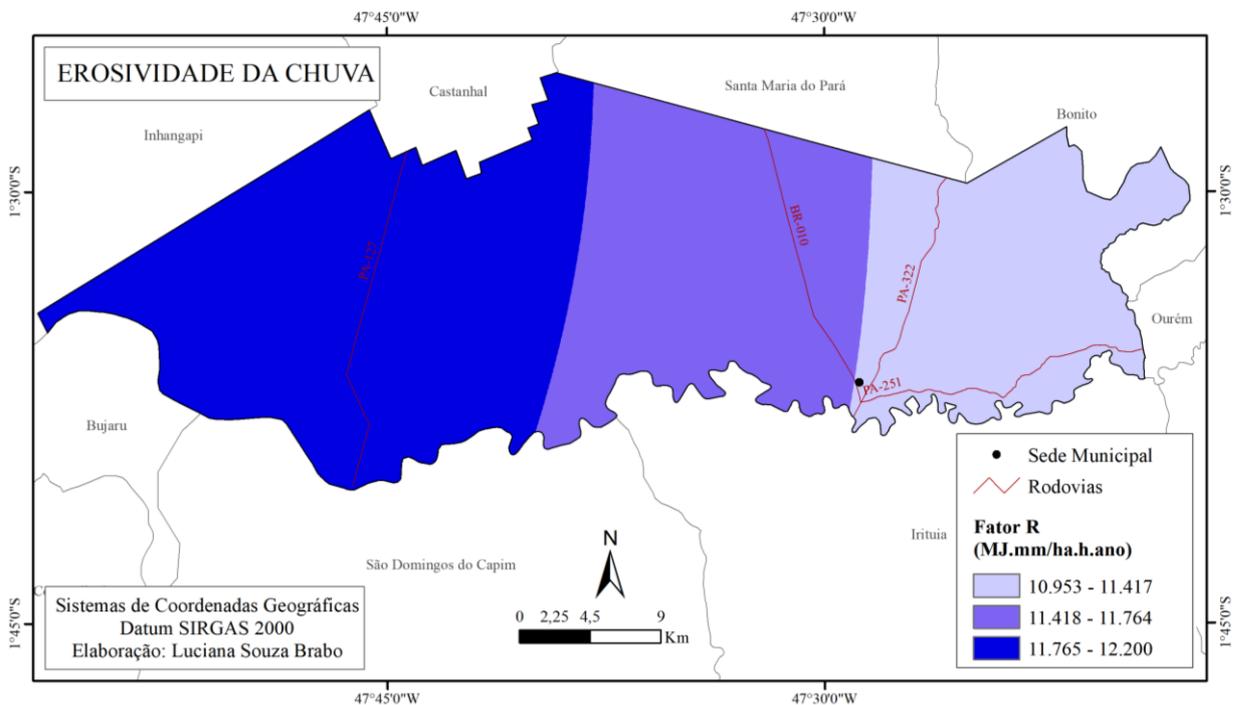
Tabela 8 - Valores médios mensais e totais médios de precipitação das estações pluviométricas próximas ao município de São Miguel do Guamá.

ESTAÇÕES	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL (mm)											TOTAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	
Acará	318,7	380,2	442,1	447,2	326,2	168,3	130,6	96,3	76,1	77,4	91,9	2747,6
C Sto Antônio	280,9	349,9	395,1	358,1	299,8	166,7	137	82,2	54,9	51,2	54,6	2360,9
Faz Juará	276,2	340	402,8	382	277,5	149,5	109,2	77,6	58,8	58,4	107,8	2413,8
Igarapé-Açu	260,2	312,3	420	366,9	298	203,8	181,1	112,4	55,1	37,1	43,5	2402,0
Ourém	232	293,9	371,9	339,6	260,4	159,2	144,5	101,2	67,5	49,9	51,5	2180,5
Sta Isabel	324,5	344,8	420,4	399,1	340,9	203,7	190,6	114,7	117,6	101,5	120,7	2883,1
MÉDIA	282,1	336,8	408,7	382,2	300,5	175,2	148,8	97,4	71,7	62,6	78,3	2498

Fonte: Autor.

O Fator Erosividade (R) para a região do município de São Miguel do Guamá variou de 10476,2 MJ.mm/ha.h.ano a 13050,5 MJ.mm/ha.h.ano (Figura 15). Na tabela 9 são apresentados os dados das médias mensais do índice de erosividade e do fator R para cada estação pluviométrica.

Figura 15 - Mapa de erosividade para o município de São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

Tabela 9 - Valores médios mensais de Erosividade e Fator R das estações pluviométricas próximas ao município de São Miguel do Guamá.

ESTAÇÕES	EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL (MJ.mm/ha.h.ano)												FATOR R
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
Acará	1538,4	2127,2	2667,4	2708,3	1593,2	567,3	369,9	247,3	159,6	151,9	210,5	709,5	13050,5
C Sto Antônio	1395,0	2010,7	2452,6	2056,7	1524,8	585,4	440,0	186,8	105,0	101,4	123,6	439,7	11421,6
Faz Juará	1329,5	1938,4	2532,4	2309,2	1334,2	486,2	293,8	188,1	114,0	106,9	333,0	643,7	11609,5
Igarapé-Açu	1243,2	1662,4	2744,8	2113,9	1525,0	815,6	664,1	307,0	101,5	60,7	91,5	374,8	11704,5
Ourém	1089,2	1598,3	2398,5	2024,7	1295,3	566,7	488,6	264,6	162,2	95,2	130,7	362,3	10476,2
Sta Isabel	1519,7	1689,5	2319,5	2089,4	1651,8	707,0	643,0	264,6	301,4	219,1	325,9	739,7	12470,7
MÉDIA	1352,5	1837,8	2519,2	2217,0	1487,4	621,4	483,2	243,1	157,3	122,5	202,5	545,0	11788,8

Fonte: Autor.

Os valores encontrados para a região de estudo são considerados muito forte, de acordo com a chave de interpretação proposta por Carvalho (1994) e modificada para o Sistema Internacional de Unidade Métrica por Foster (1981) (Tabela 10).

Tabela 10 - Chave de interpretação de Erosividade da chuva.

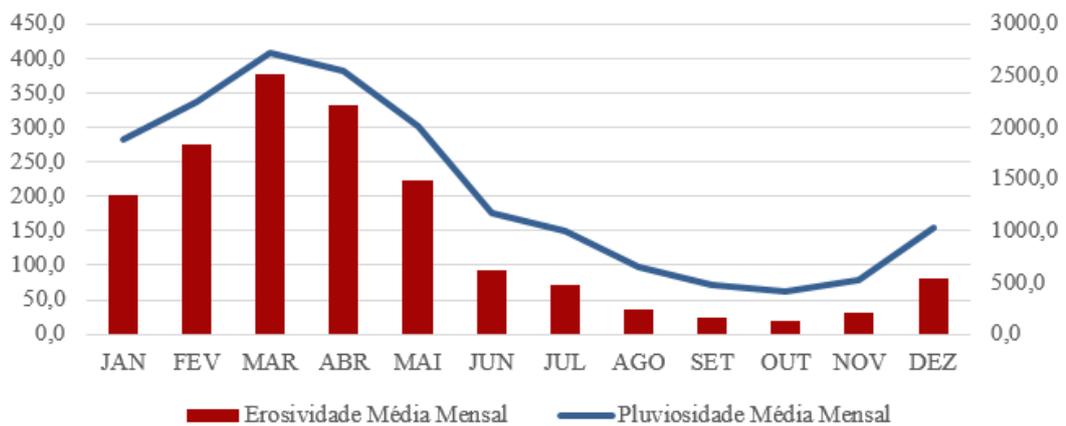
MJ.mm/ha.h.ano	CLASSE
$R \leq 2452$	Baixa
$2452 < R \leq 4905$	Média
$4905 < R \leq 7357$	Média - forte
$7357 < R \leq 9810$	Forte
$R > 9810$	Muito forte

Fonte: Carvalho (1994); Foster (1981).

Os elevados índices de erosividade, encontrados na região de São Miguel do Guamá, se enquadram na faixa de variação de 10000 a 12000 MJ.mm/ha.h.ano, obtidos por Silva (2004), para essa região, no mapeamento de erosividade de chuva para o Brasil. Além disso, concordam com os valores obtidos por Oliveira Junior *et al.* (1992), para o município de Bragança (12.350,8 MJ.mm/ha.h.ano), também localizado na região do nordeste paraense e distante cerca de 100 km de São Miguel. Entretanto foram inferiores aos índices encontrados por Albuquerque (2013) para a Bacia do Rio Apeú (22001,3 MJ.mm/ha.h.ano), e por Rosa *et al.* (2016) para o município de Rondon do Pará (16390 MJ.mm/ha.h.ano).

Visando entender melhor o comportamento da erosividade das chuvas realizou-se uma análise comparativa entre a precipitação e a erosividade das chuvas mês a mês (Figura 16). Assim, foi possível observar que a erosividade das chuvas varia de acordo com a precipitação, tendo o seu pico registrado no mês de março, e a partir do qual inicia-se um decréscimo, chegando ao seu valor mínimo no mês de outubro. Dessa forma, no período de fevereiro a maio ocorrem as chuvas de maior potencial erosivo, coincidindo com o período mais chuvoso na região, quando é esperada a maior parte das perdas de solo por erosão. Enquanto nos meses de agosto a novembro ocorrem as chuvas com menor potencial erosivo, justamente durante o período menos chuvoso na região.

Figura 16 - Relação mensal entre Pluviosidade e erosividade.

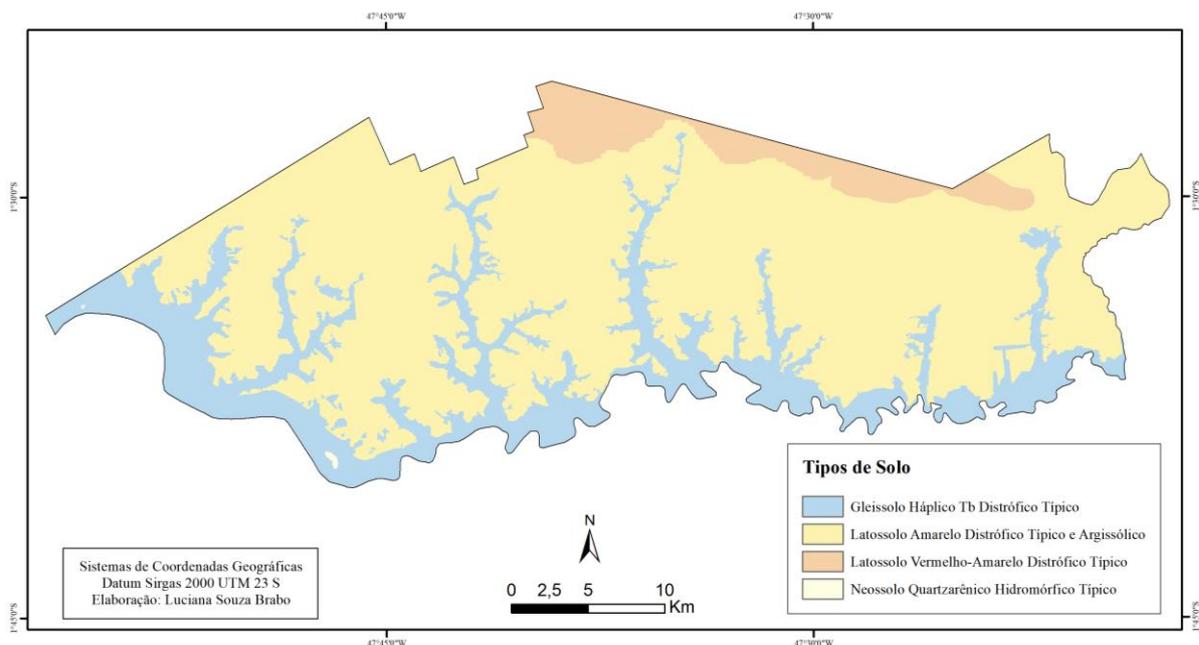


Fonte: Autor.

5.2 Fator K – Erodibilidade do solo

As classes de solo encontradas no município de São Miguel do Guamá (Figura 17) apresentam as seguintes características: Latossolo Amarelo Distrófico Típico associado ao grupo Argissólico (LAd41), textura arenosa, bem drenado, está localizado em relevo plano e ocupa a maior área do território municipal; Gleissolos Háplicos Tb Distrófico Típico (GXbd), textura predominantemente argilosa, coloração branca e imperfeitamente drenados, possuem relevo plano e se concentram nas planícies de inundação do rio Guamá e de seus afluentes; Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico (LVAd14), textura franco arenosa, friável, bem drenada e está localizado em relevo plano; Já o Neossolo Quartzarênico não será discutido neste trabalho, devido a pouca expressividade deste tipo de solo no município estudado, visto que ocupa menos de 0,5% da sua área territorial.

Figura 17 - Tipos de solo encontrados no município de São Miguel do Guamá.



Fonte: Embrapa (2016).

Na tabela 11 são apresentadas a área ocupada por cada classe de solo e seus respectivos índices de erodibilidade em t.h/MJ.mm. Onde é possível observar que o Latossolo Amarelo ocupa 71,6 % do território municipal, seguido pelo Gleissolo Háptico com 22,3 % e do Latossolo Vermelho-Amarelo com 6,1%.

Tabela 11 - Área ocupada pelas classes do solo e seus respectivos fatores K.

Tipos de solo	Sigla	Fator K	Área ocupada (km ²)	Área %
Gleissolo Háptico Tb Distrófico Típico	GXbd	0,014	245,6	22,3
Latossolo Amarelo Distrófico Típico e argissólico	LAd41	0,045	789,9	71,6
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico	LVAd14	0,048	67,3	6,1
Neossolo Quartzarênico Hidromorfo Típico	RQg	0,055	0,51	0,05

Fonte: Autor.

A erodibilidade no horizonte A variou entre 0,014 e 0,055 t.h/MJ.mm. Ao comparar os resultados de erodibilidade obtidos para São Miguel do Guamá, com a chave de classificação proposta por Carvalho (1994) e adaptada por Foster (1981), é possível verificar que somente o valor obtido pelo Gleissolo foi enquadrado na categoria baixa erodibilidade, enquanto os demais tipos de solo foram enquadrados na classe alta erodibilidade (Tabela 12).

Tabela 12 - Chave de Classificação dos valores de erodibilidade do solo.

Valores de Erodibilidade	Classe de interpretação
$K < 0,0198$	Erodibilidade baixa
$0,0198 < K < 0,040$	Erodibilidade média
$K > 0,040$	Erodibilidade alta

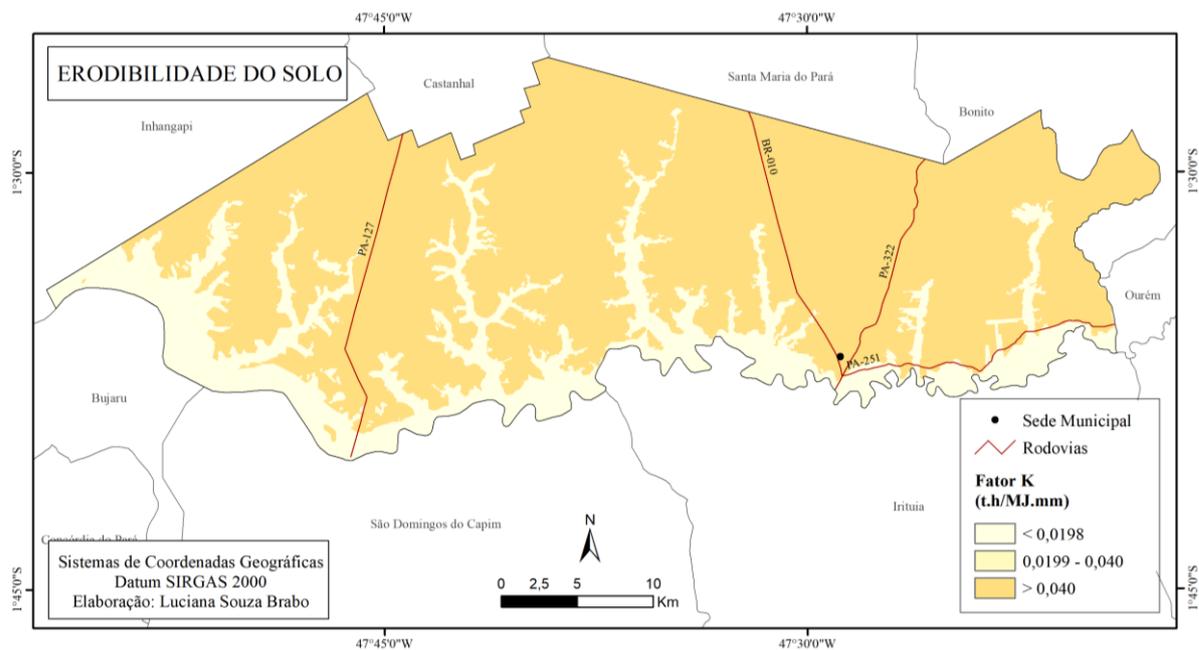
Fonte: Carvalho (1994); Foster (1981).

Dessa forma, dentre os resultados obtidos, o tipo de solo que apresentou menor índice de erodibilidade, e, portanto, maior resistência à erosão, está concentrado às margens do Rio Guamá e de seus afluentes, região constituída por Gleissolo Háptico, tipo de solo geralmente associado a ambientes úmidos. Conforme Lima *et al.* (2007), em solos muito argilosos a variação do valor de K, depende quase que exclusivamente da variável permeabilidade. Nesse estudo, o Gleissolo Háptico, apresentou permeabilidade muito lenta, assumindo valor 1, o que levou a uma diminuição do índice de erodibilidade desse tipo de solo. Dessa forma, o resultado de erodibilidade encontrado para o Gleissolo (0,014), foi muito próximo aos valores encontrados na literatura por Di Raimo *et al.* (2019) no Mato Grosso (0,018) e por Lima *et al.* (2007) no Distrito Federal (0,013).

Enquanto os Latossolos, tipos de solo predominante, que ocupam mais de 75% da área do município, apresentaram maiores valores de erodibilidade, logo, maior capacidade em sofrer erosão (figura 18). Conforme Arraes *et al.* (2010) os Latossolos apresentam condições pouco favoráveis à concentração de água por escoamento superficial, pois em geral são solos bem drenados, maduros e profundos. No entanto, os resultados obtidos vão de encontro aos observados na literatura, onde a maioria dos estudos foram aplicados em latossolos de textura argilosa ou muito argilosa, e obtiveram valores de erodibilidade de 0,015 (LIMA *et al.*, 2007); 0,0277 (MORAIS; SALES, 2017) para Latossolos Amarelo, no Distrito Federal e Piauí, respectivamente. Além de variação de 0,0020 a 0,034 no Mato Grosso (DI RAIMO *et al.*, 2019); 0,011 a 0,026 no Distrito Federal (LIMA *et al.*, 2007); e 0,032 na Bacia do Rio Paracatu (SILVA *et al.*, 2004) para Latossolo Vermelho-amarelo.

Os resultados evidenciaram que quanto maior o produto entre as partículas maiores (teores de areia e silte pela variável “M”), mais elevada será a erodibilidade. Além disso, em solos de textura arenosa, pode ocorrer saturação por infiltração de água pluvial e um aumento na susceptibilidade erosiva do solo, devido a menor agregação entre as partículas.

Figura 18 - Mapa de erodibilidade do solo no município de São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

5.3 Fator LS – Topográfico

O fator topográfico (LS) da equação universal EUPS representa o efeito conjugado do comprimento de rampa e da declividade sobre a perda do solo, sendo este fator adimensional.

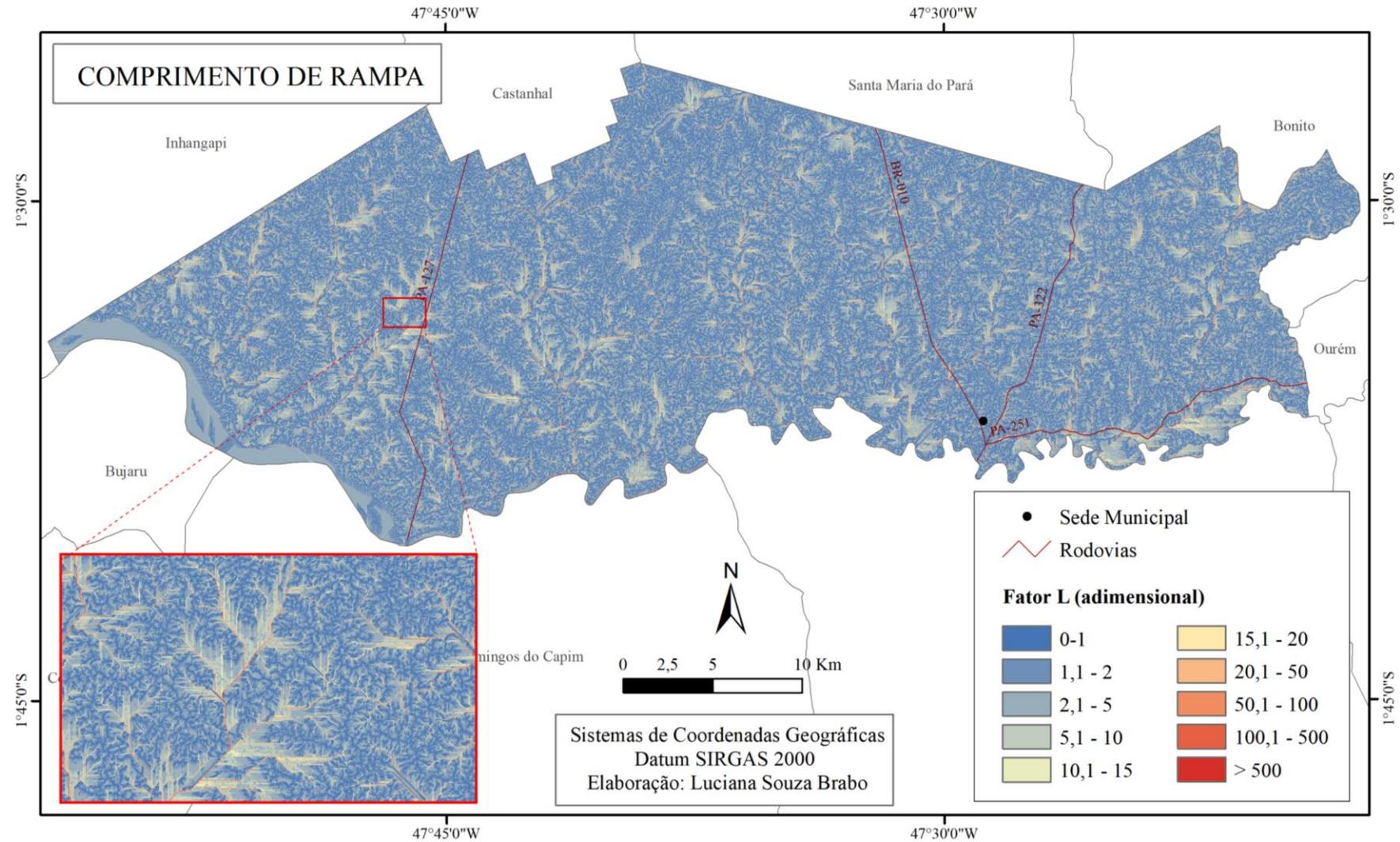
No município de São Miguel do Guamá o comprimento de rampa predominante foi de 0 a 10 m, que se estende por 96% da área total do município (Tabela 13). Os valores mais baixos de comprimento de rampa ocorreram nos topos de morro, enquanto os valores mais elevados encontram-se nas proximidades das drenagens (área acumulada), onde há distância expressiva do divisor de água e a ocorrência de convergência de fluxo, condições similares foram encontradas por Medeiros (2016) e Silva (2003) (Figura 19).

Tabela 13 - Classes de comprimentos de rampa no município de São Miguel do Guamá.

Comprimento de Rampa (adimensional)	Área (km ²)	Área (%)
0-10	1063,5	96,4
10-20	20,0	1,8
20-30	6,6	0,6
30-40	3,4	0,3
40-50	1,9	0,2
>50	8,1	0,7

Fonte: Autor.

Figura 19 - Mapa do fator Comprimento de rampa (L).



Fonte: Autor.

Para avaliar o efeito da declividade sobre o fator S seguiu-se a classificação proposta por EMBRAPA (1979). Logo, o fator S no município foi classificado como predominantemente de relevo plano e suave ondulado, que cobre 99,9 % de toda a área municipal (Tabela 14). Conforme Silva e Machado (2014) esse tipo de relevo favorece a infiltração da água no solo e diminui a ocorrência de escoamento superficial, resultando em baixas taxas erosiva no solo. (Figura 20).

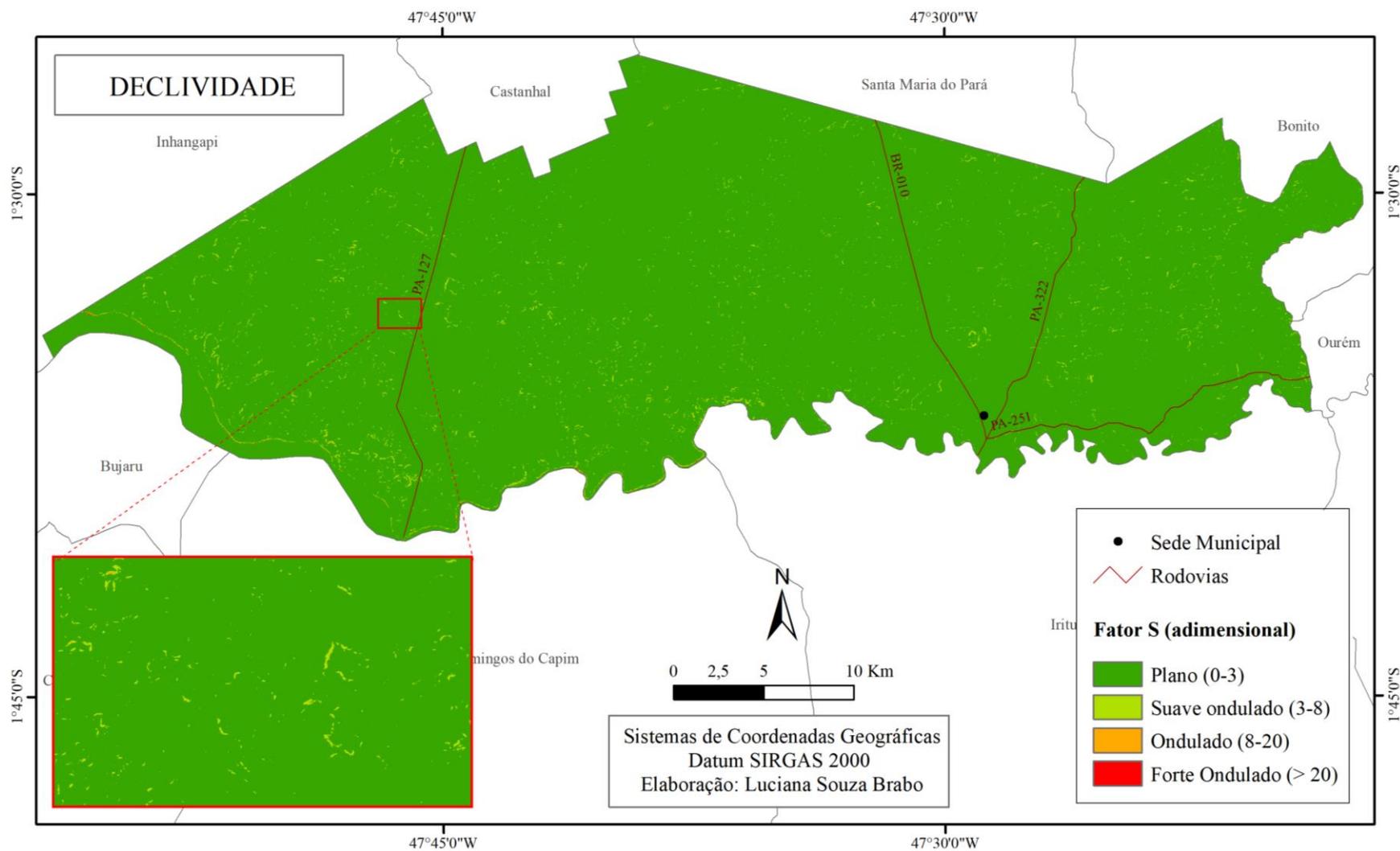
Tabela 14 - Classes de relevo no município de São Miguel do Guamá.

Fator declividade (adimensional)	Área (km ²)	Área (%)	Classificação
0-3	1092,8	99,04	Plano
3-8	9,9	0,90	Suave ondulado
8-20	0,5	0,05	Ondulado
> 20	0,1	0,01	Forte Ondulado

Fonte: Autor.

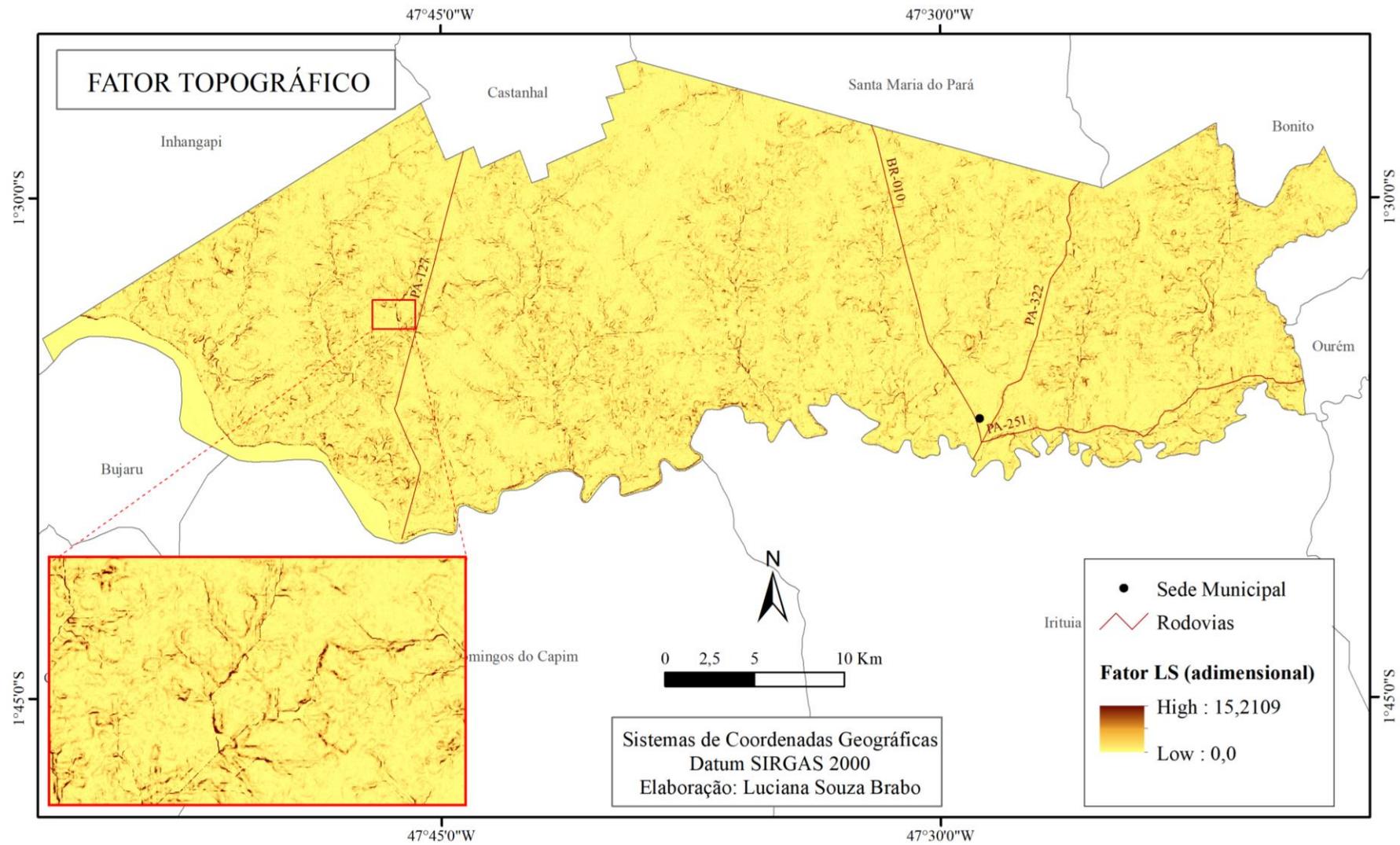
A análise do fator topográfico é importante na configuração da erosão hídrica, pois caracteriza a velocidade do escoamento superficial. No município de São Miguel do Guamá o fator LS variou entre 0 e 15 (Figura 21).

Figura 20 - Mapa do fator Declividade (S).



Fonte: Autor.

Figura 21 - Mapa Fator Topográfico de São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

Segundo classificação estabelecida por Silva (2003) 99% dos valores apresentados pelo fator topográfico (LS) foram enquadrados na categoria de muito baixo (Tabela 15). Tal característica contribui para que o município apresente menores taxas de escoamento superficial, desfavorecendo a ocorrência de erosão hídrica laminar.

Tabela 15 - Chave de classificação do Fator LS.

Fator LS	Área (km ²)	Área (%)	Classificação
0-1,2	1103,12	99,98	Muito Baixo
1,2-5,5	0,23	0,02	Baixo
5,5-7,5	0,02	0,00	Moderado
7,5-20	0,02	0,00	Alto
> 20	0,02	0,00	Muito Alto

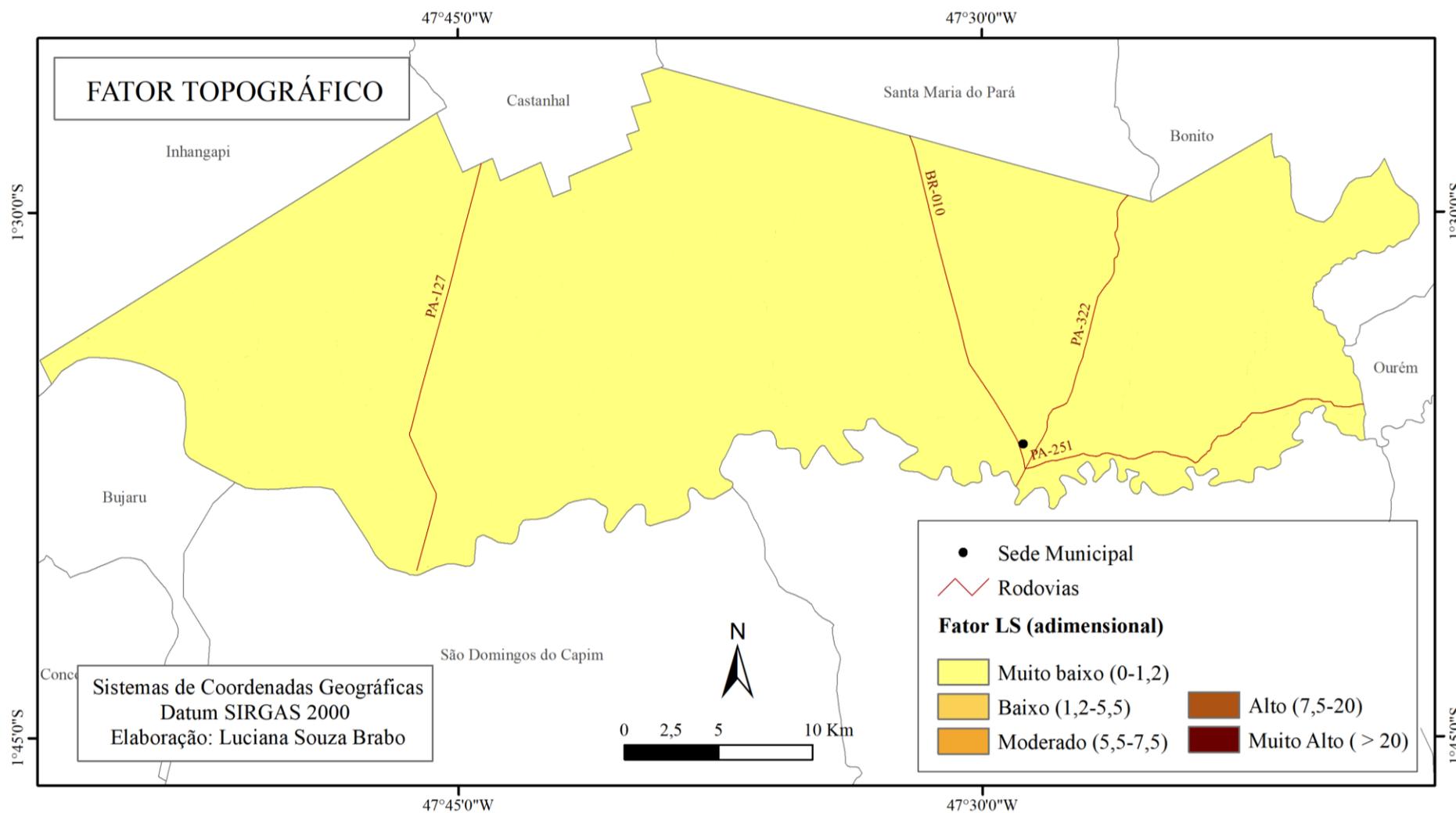
Fonte: Autor.

O algoritmo utilizado para o cálculo automatizado do fator topográfico LS apresentou resultados coerentes com a realidade, conforme estudos similares, com valores muito baixos nos divisores hidrográficos e aumento gradativo no sentido dos canais de drenagem.

Dessa forma, é possível observar que de uma maneira geral os valores elevados correspondem a relevos mais energéticos (STEIN *et al.*, 1987). Com isso, estudos sugerem que a declividade é fator preponderante para a obtenção de altos valores de fator topográfico. Os resultados do estudo corroboram essa premissa, mas também concordam com estudo de Galdino (2012) que destaca a importância do comprimento da rampa para a estimativa do fator topográfico, especialmente quando a declividade apresentar valores menores que 20%. Resultados similares foram apresentados por Matos (2015) e Santos (2013), que em regiões de relevo suave (3 a 8) tiveram valores do fator topográfico mais elevados, quanto maior o comprimento de rampa.

No entanto, como a região de estudo também apresentou valores muito baixos de comprimento de rampa (< 10), os resultados apontaram susceptibilidade erosiva muito baixa quanto ao fator topográfico (Figura 22).

Figura 22 - Classificação do Mapa Fator Topográfico de São Miguel do Guamá.

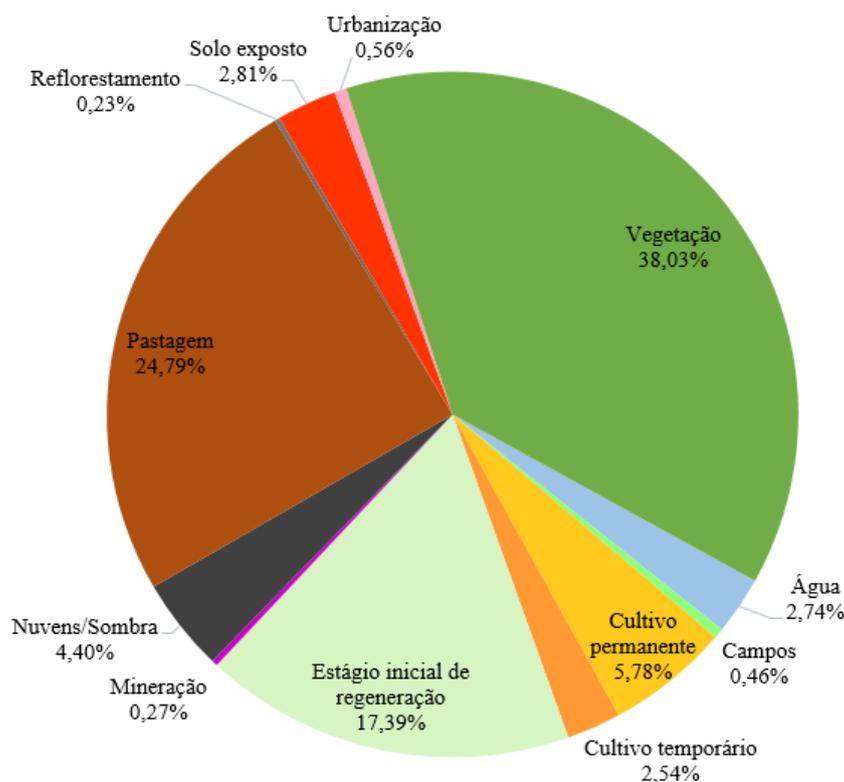


Fonte: Autor.

5.4 Fator CP – Uso do solo (C) e práticas conservacionistas (P)

Analisando o mapa observa-se que mais da metade do seu território (cerca de 55%) é ocupado por áreas que vêm sendo modificadas em decorrência de atividades antrópicas. Deste percentual, aproximadamente 25% pertencem à classe Pastagem e 17% às áreas em estágio inicial de regeneração (Figura 23).

Figura 23 - Porcentagem de área ocupada pelas classes de uso do solo.



Fonte: Autor.

Entretanto, a classe que ocupa maior área territorial é denominada como vegetação, com 38% de área. A cobertura vegetal presente no município de São Miguel do Guamá é predominantemente de vegetação secundária, com resquícios de vegetação nativa, concentrada às margens do rio Guamá e de seus afluentes (Figuras 24 e 25).

Figura 24 - Vegetação secundária em São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

Figura 25 – Vegetação nativa às margens do rio Guamá.



Fonte: Autor.

Durante visita ao município, foram observados os principais representantes de cultivos permanentes: Urucum, Pimenta do Reino e Dendê, que ocupam cerca de 6% de área do município (Figuras 26, 27 e 28). Além dos representantes de plantios temporários: mandioca e o feijão, que ocupam cerca 3% da área municipal (Figuras 29 e 30).

Figura 26 - Cultivo agrícola permanente: urucum.



Fonte: Autor.

Figura 27 - Cultivo agrícola permanente: pimenta-do-reino.



Fonte: Autor.

Figura 28 - Cultivo agrícola permanente: dendê.



Fonte: Autor.

Figura 29 - Cultivo agrícola temporário: mandioca.



Fonte: Autor.

Figura 30 - Cultivo agrícola temporário: feijão.



Fonte: Autor.

Conforme Cordovil (2010) São Miguel do Guamá é importante pólo cerâmico no Estado. Em visita ao município foi constatada a presença marcante de indústrias produtoras de telhas e tijolos (Figuras 31 e 32). E durante elaboração do mapa de uso foram identificadas jazidas de exploração de argila (à margem do Rio Guamá) e de areia e seixo (interior do município), que ocupam aproximadamente 0,3% do território municipal (Figuras 33 e 34).

Figura 31 - Indústria cerâmica em São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

Figura 32 – Fornos na Indústria cerâmica em São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

Figura 33 – Área abandonada de exploração de argila em São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

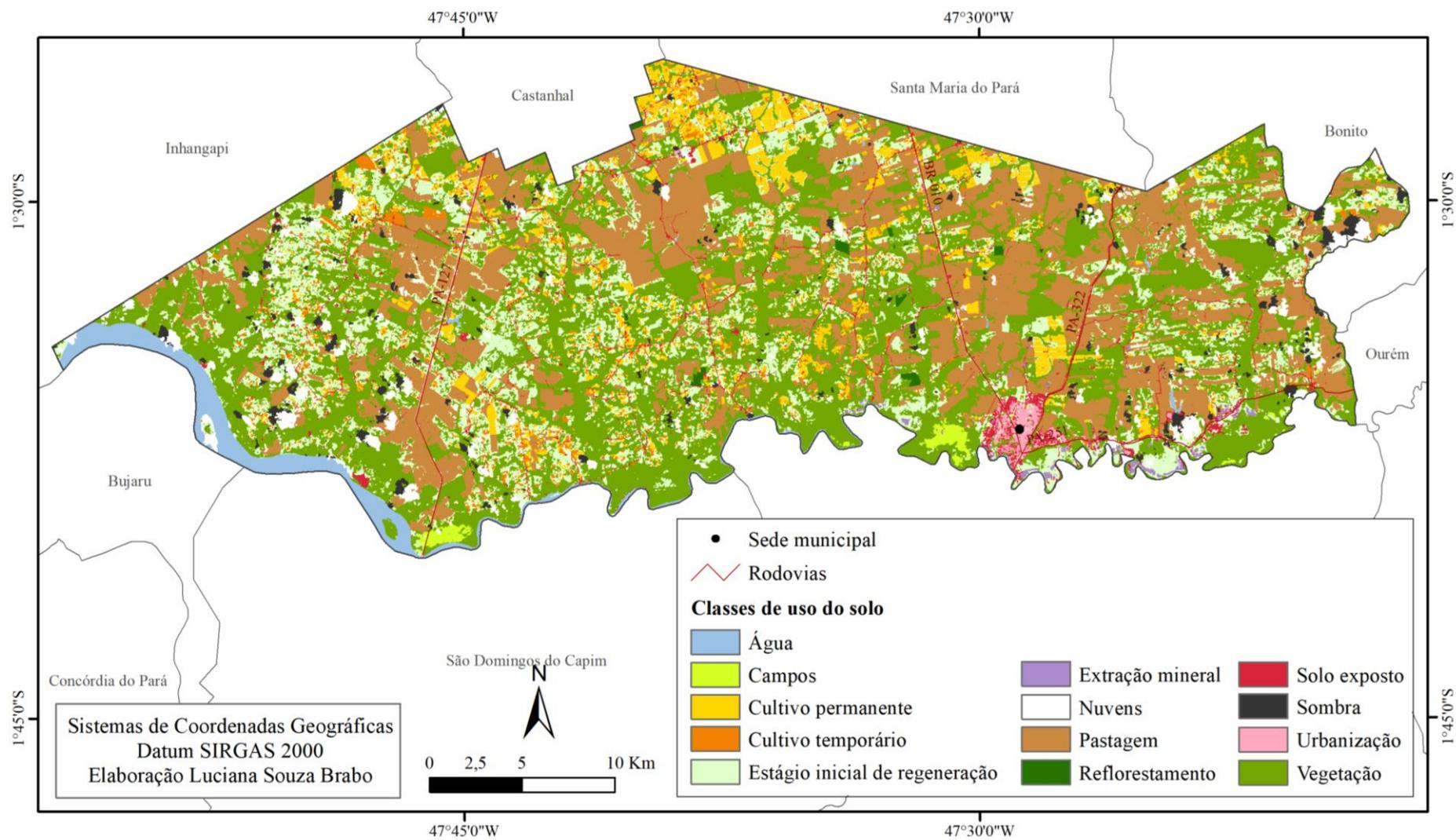
Figura 34 – Área de exploração de areia em São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

Apesar da existência de confusões temáticas na classificação automática, o mapa gerado (Figura 35) descreve de forma satisfatória o panorama de uso do solo em São Miguel do Guamá, uma vez que a visita ao município demonstrou bons resultados quando comparada a verdade terrestre ao mapa temático.

Figura 35 - Mapa de uso do solo de São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

O fator CP varia de 0 a 1 e quanto mais próximo de 1, menor a proteção do solo e maior a susceptibilidade à ação erosiva (Tabela 16). Dessa forma, conforme Barbosa *et al.* (2015) os valores extremos superiores de CP estão associados às classes que apresentam pouca ou nenhuma cobertura de solo e a ausência de práticas de conservação do solo, como por exemplo as classes mineração e solo exposto, caracterizadas pela ausência total de vegetação e de práticas conservacionistas, e, que, portanto, apresentam alta susceptibilidade erosiva.

Para os corpos de água, nuvens e sombras foi adotado valor nulo de CP. O espaço urbano do município apresentou características que favorecem a ocorrência de erosão laminar, como áreas sem infraestrutura e estradas sem pavimentação, dessa forma, adotou-se valor CP de 0,01, conforme Costa (2009).

Tabela 16 - Porcentagem de área ocupada pelas classes de uso do solo.

Classes	Área (Km ²)	Área (%)	Fator CP
Água	30,20	2,74	0,0
Campos	5,04	0,46	0,01
Cultivo permanente	63,79	5,78	0,125
Cultivo temporário	27,99	2,54	0,10
Estágio inicial de regeneração	191,83	17,39	0,25
Extração mineral	3,02	0,27	1,0
Nuvens/Sombra	48,49	4,40	0,0
Pastagem	273,55	24,79	0,1
Reflorestamento	2,53	0,23	0,0015
Solo exposto	31,03	2,81	0,5
Urbanização	6,23	0,56	0,01
Vegetação	419,64	38,03	0,0002

Fonte: Autor.

As classes de uso vegetação e reflorestamento apresentaram valores muito baixos de fator CP, devido à presença de cobertura vegetal, que protegem o solo dos efeitos da água da chuva, favorecem a infiltração e impedem o escoamento superficial acelerado.

Quando o tipo de uso são os cultivos agrícolas, a susceptibilidade tende a ser média, devido ao porte mais baixo da cobertura vegetal, o espaçamento regular entre os indivíduos e o sistema de preparo e manejo da terra. Além disso, segundo Lanza (2011) há um agravante no caso de cultivos temporários, pois em determinados períodos do ano, durante a entressafra, o solo fica desprotegido, sem nenhuma cobertura vegetal. É válido ressaltar que os procedimentos de preparo de área para o cultivo temporário desempenham um importante papel para a

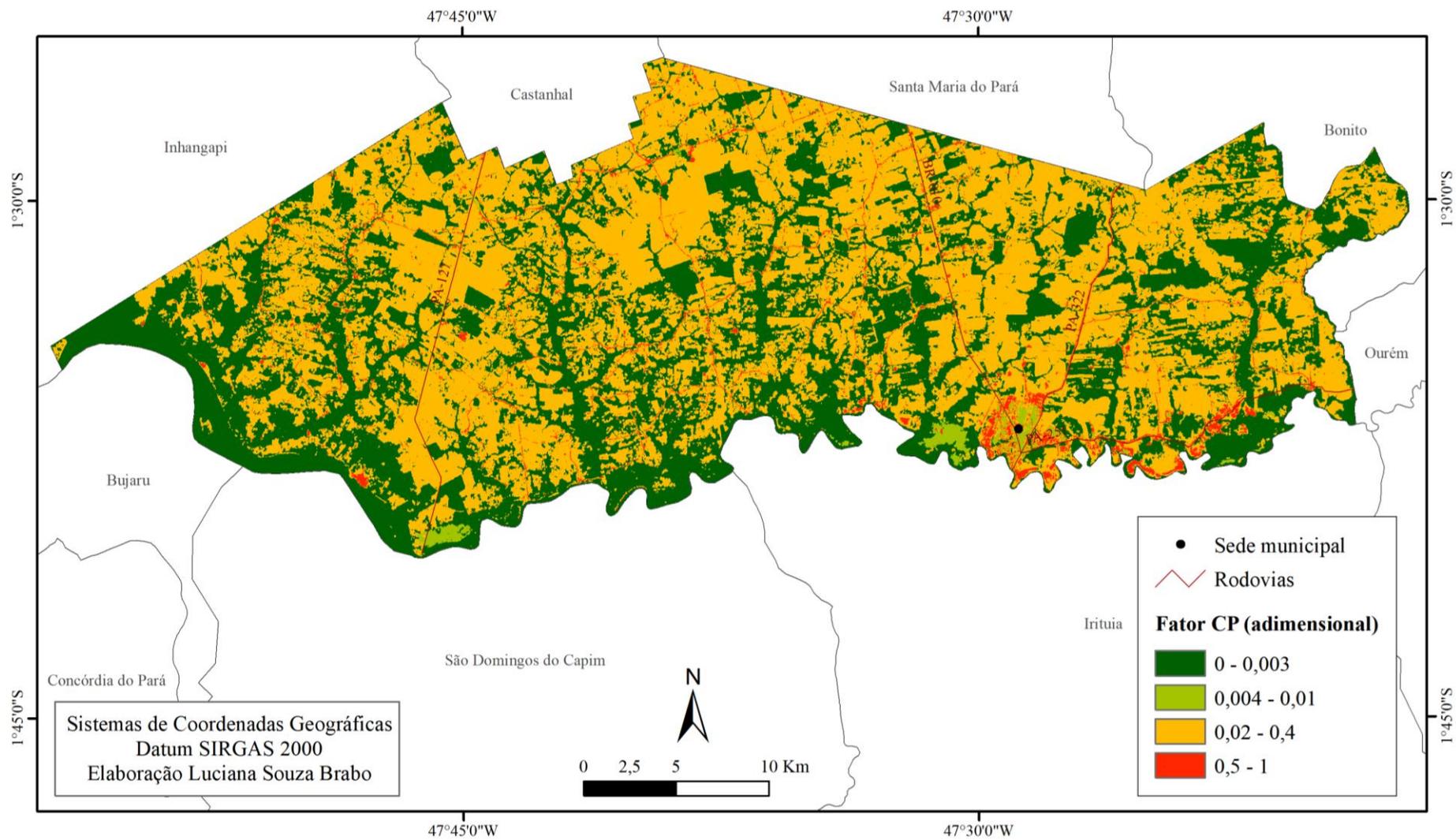
susceptibilidade erosiva, devido à frequência com são efetuadas as interferências no solo (MATOS, 2015).

As pastagens apresentaram valor semelhante ao encontrado para cultivos temporários, com resultado próximo daqueles encontrados por Bertoni e Lombardi Neto (2010) de 0,0889; e por Galdino (2012) que variou entre 0,0049 e 0,0997. A erosão acelerada está presente em todas as fases do estabelecimento de pastagens, sendo importante o manejo correto das mesmas e a adoção de práticas de conservação do solo, pois a degradação das pastagens é um dos maiores problemas da pecuária (GALDINO, 2012)

A classe estágio inicial de regeneração apresentou valores CP de média a alta, pois são áreas alteradas, que foram abandonadas para regeneração, sem qualquer manejo ou uso de técnicas de conservação do solo.

As classes extração mineral, seguida de solo exposto foram as que apresentaram os maiores valores para o fator CP, pois incidem em altas taxas de perda de solo (Figura 36). São áreas compactadas, completamente expostas ao efeito da água das chuvas e sem o uso de qualquer prática de conservação do solo. Além disso, a atividade extração mineral apresenta constantes e intensas movimentações do solo.

Figura 36 – Mapa do fator CP no município de São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

5.5 Potencial natural à erosão laminar (PNE)

O potencial natural de perda de solos desconsidera os fatores gerados a partir de ações antrópicas, como o uso do solo e práticas conservacionistas e estima o potencial da perda de solo (máximo), considerando apenas os fatores de origem natural como erosividade das chuvas, erodibilidade do solo e topográfico.

Para o município de São Miguel do Guamá os valores obtidos variaram de 0,0 a 4284,8 t/ha.ano. No entanto, os valores mais altos de erosão potencial, não se aplicam à realidade do local de estudo, onde eles representam menos de 6% da área total. Dessa forma, o município apresentou estimativa do potencial erosivo classificada predominantemente como nula a pequena, conforme classificação estabelecida por Carvalho (1994), onde 94,7 % da área municipal apresentou perda de solo de até 10 t/ha.ano (Tabela 17).

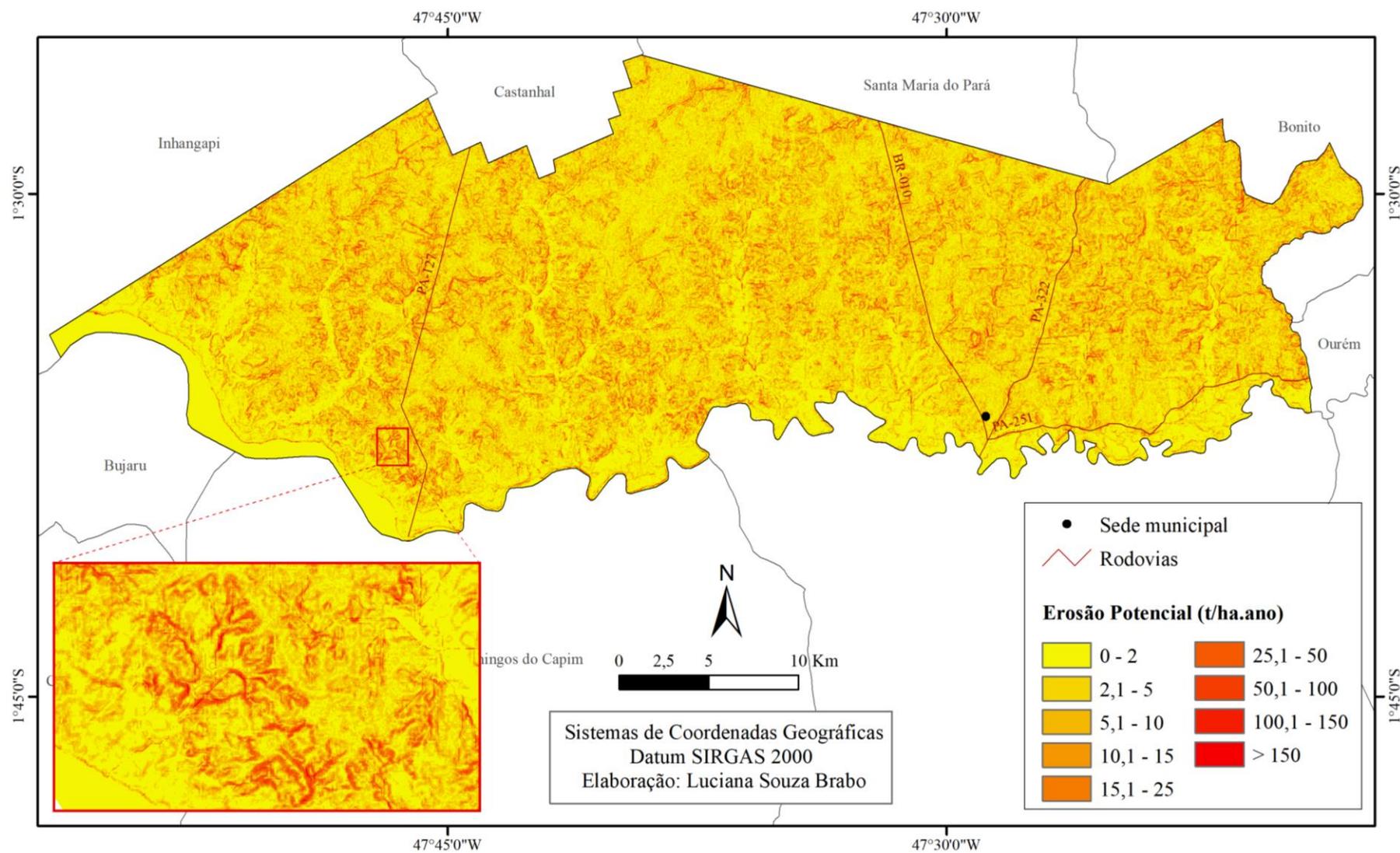
Tabela 17 - Chave de interpretação da estimativa de perda de solo.

Perda do solo (t/ha.ano)	Classificação	Área (km ²)	Área (%)
0-10	Nula a pequena	1037,6	94,07
10-15	Moderada	0,0	0,00
15-50	Média	56,3	5,11
50-120	Média a forte	7,3	0,67
120-200	Forte	0,8	0,08
>200	Muito forte	0,9	0,08

Fonte: Segundo Carvalho (1994).

Apesar do potencial erosivo do município de estudo ter se mostrado como de nulo a pequeno, é possível observar que o fator preponderante, que influenciou diretamente no mapa de erosão potencial, foi o fator topográfico (Figura 37). Os maiores valores foram encontrados nas áreas de maior movimentação no relevo, ou seja, onde se encontram os maiores comprimentos de rampa e declividade. Esses resultados concordam com os estudos de Borges (2009) na Bacia do Rio Carinhanha; Campos *et al.* (2008) em Pereira Barreto/SP; e Miquelone *et al.* (2012) no Córrego do Tijuco/SP, que afirmam que o relevo é o fator de maior impacto na taxa de perda de solo por erosão. Isso pode explicar o baixo potencial erosivo apresentado no município de estudo, uma vez que o mesmo apresentou relevo plano a suave ondulado e fator LS categorizado como muito baixo.

Figura 37 – Classificação do mapa do potencial natural a erosão (PNE).



Fonte: Autor.

5.6 Erosão atual (EA)

A erosão atual dos solos considera todos os fatores da EUPS, ou seja, inclui no sistema a interferência das atividades antrópicas, representada pelo fator uso do solo e práticas conservacionistas. No município de São Miguel do Guamá os valores variaram de 0 a 1031,9 t/ha.ano. No entanto, os valores mais altos de erosão atual, não se aplicam ao local de estudo e foram considerados insignificantes, pois representam menos de 0,5% de toda área. A erosão atual no município foi considerada de nula a pequena, conforme classificação estabelecida por Carvalho (1994), sendo que 99,7% da área municipal apresentou perda de solo de até 10 t/ha.ano (Tabela 18).

Tabela 18 - Chave de interpretação da estimativa de perda de solo.

Perda do solo (t/ha.ano)	Classificação	Área (km ²)	Área (%)
0-10	Nula a pequena	1099,8	99,71
10-15	Moderada	1,3	0,11
15-50	Média	1,7	0,15
50-120	Média a forte	0,2	0,02
120-200	Forte	0,0	0,0
>200	Muito forte	0,0	0,0

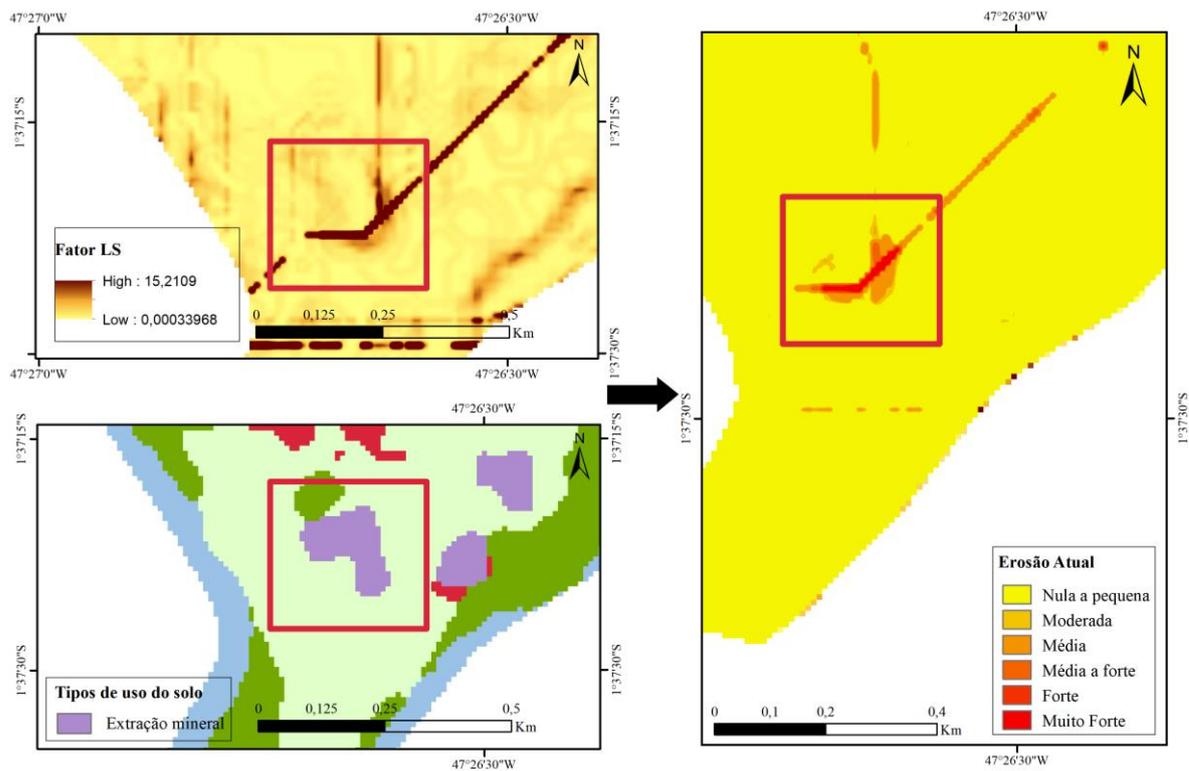
Fonte: Segundo Carvalho (1994).

Os resultados do mapa de erosão atual demonstraram forte influência do fator uso do solo e práticas conservacionistas (CP) e do fator topográfico (LS), enquanto a influência dos demais fatores se mostrou menos perceptível.

Os resultados discordam de Lanza (2011) e Silva (2016), que destacam também a erodibilidade como um fator de grande importância para a estimativa de perda do solo. No entanto, concordam com Borges (2009) que apresentou 89,37% da Bacia do Rio Carinhanha, com perda de solo menor que 10 ton/ha.ano; com Costa (2018) que apresentou a estimativa de perda do solo para os municípios de Placas/PA e Uruará/PA com perda de solo de 50 a 120 ton/ha.ano e classificadas como média a forte; com Oliveira (2018) que apresentou a Sub-Bacia Ribeirão Ponte Alta/DF com 99% da perda de solo de até 10 ton/ha.ano; e com Santos (2013) em Capitão Poço/PA, que apresentou cerca de 95% da área de estudo com perda de solo de até 10 ton/ha.ano.

As áreas com maiores valores de perda de solo por erosão laminar e que, portanto, foram classificadas com erosão atual muito forte (> 200 ton/ha.ano), estão situadas principalmente à margem do Rio Guamá. Essas áreas possuem o uso do solo Mineração (CP = 1) associado aos valores mais elevados do fator topográfico (LS = 3) (Figura 38).

Figura 38 – Detalhe dos fatores que mais influenciam na erosão atual.



Fonte: Autor.

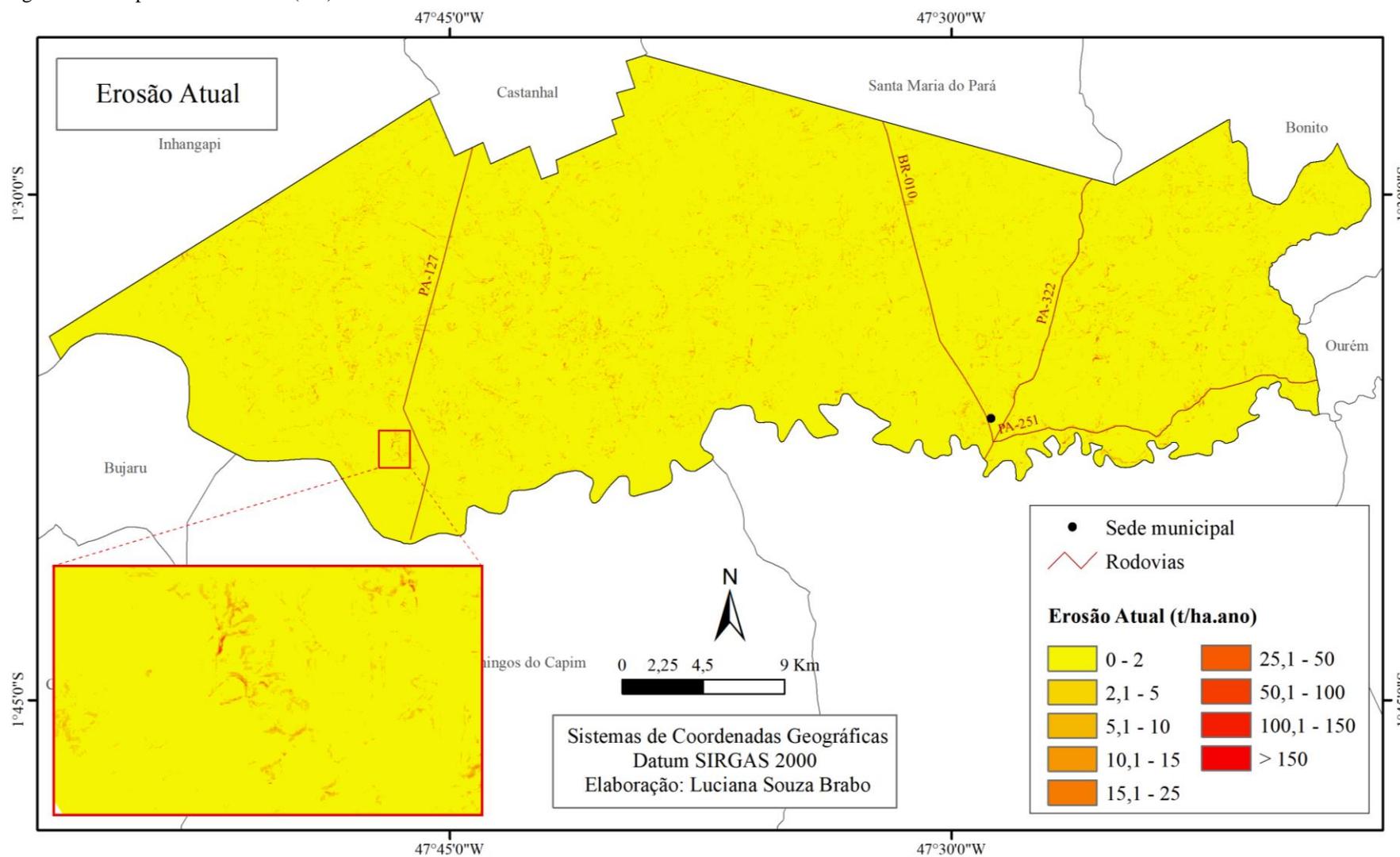
O uso solo exposto também apresentou enorme importância para o estabelecimento de áreas com elevada perda de solo. Conforme Oliveira (2018) essas áreas precisam de cuidados especiais e do uso de técnicas adequadas de manejo do solo, para evitar a intensificação da erosão laminar e o avanço desta para estágios mais avançados, como sulcos, ravinas ou voçorocas.

Comparando o mapa de potencial natural à erosão com o mapa de erosão atual, é possível observar que o potencial erosivo do município é mais elevado, ou seja, possui mais áreas presentes nas categorias de maior perda de solo por erosão. Assim, pode-se dizer que a cobertura do solo e as práticas conservacionistas atenuaram as perdas, mesmo sob topografia, erosividade da chuva e erodibilidade do solo favoráveis ao processo erosivo. Entretanto, é importante destacar que o uso do solo também pode acelerar o processo erosivo, pois se

modificar rapidamente, conforme as ações antrópicas. Assim, removida a vegetação de áreas potencialmente erosivas, a perda de solo por erosão tenderia a se agravar.

No geral, as áreas com cobertura vegetal presente no município, associada ao relevo plano a suave ondulado, reduziram a ocorrência de processos erosivos em São Miguel do Guamá (Figura 39). Embora a perda de solo por erosão laminar no município seja considerada muito baixa, é importante dispensar especial atenção ao manejo do solo, bem como incentivar o uso de práticas de conservação do solo, pois apesar desse tipo de erosão não se mostrar muito perceptível, exerce grande influência sobre a produtividade da área e pode acarretar perdas significativas para os produtores da região (OLIVEIRA, 2018).

Figura 39 – Mapa de erosão atual (EA).

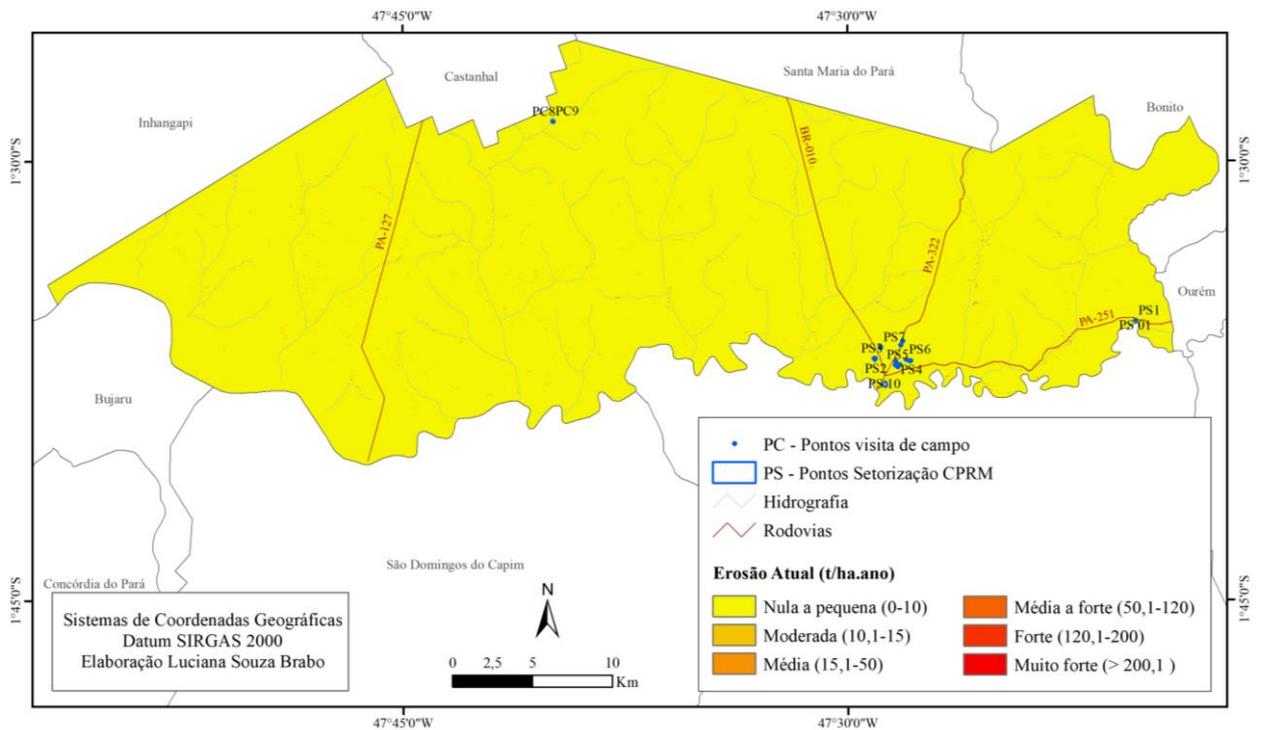


Fonte: Autor.

5.7 Setorização de risco

Em 2015, a partir de solicitação da Defesa Civil do Estado do Pará, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais realizou mapeamento de áreas de risco à inundação, movimento de massa e erosão no município de São Miguel do Guamá – PA. O trabalho mapeou, descreveu e classificou as situações com potencialidade para risco alto e muito alto no município. No entanto, para este trabalho foram selecionados apenas os pontos que continham processos erosivos ativos, são eles, PS1, PS4, PS7, PS8, P10 e P11. Além disso, durante visita de campo foram encontrados pontos mais recentes de erosão, não contemplados pela setorização de risco da CPRM. Os novos pontos foram mapeados e devidamente fotografados (figura 40).

Figura 40 – Pontos de ocorrência de processos erosivos em São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

Durante visita de campo, os pontos de erosão mais críticos, foram os mais recentes e chamaram bastante atenção, devido suas dimensões e por bloquearem a passagem na PA-322, uma das principais estradas de acesso ao interior do município. O primeiro ponto encontrado tinha cerca de 3 m de profundidade e 5 m de largura (Figura 41). Já o segundo tinha cerca de 2 m de profundidade e 3 de largura (Figura 42). Ambos “cortavam” a via e prejudicavam o tráfego. Neles foram observados despejo de lixo e o solo exposto no entorno.

É provável que essas erosões tenham se formado devido à ocorrência de chuvas intensas e o ineficiente sistema de drenagem. Moradores relataram que em períodos mais chuvosos a situação é bastante recorrente.

Figura 41 – Processo erosivo ativo em vias de acesso à São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

Figura 42 – Processo erosivo ativo em vias de acesso à São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

Na área urbana há a ocorrência de processos de erosão hídrica laminar (Figura 43). Ruas e estradas de acesso, principalmente as não impermeabilizadas, sofrem com a ocorrência de erosão em sulcos, possivelmente intensificados pelo tráfego de veículos e pessoas (Figura 44).

Figura 43 – Erosão em sulcos na área urbana de São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

Figura 44 – Erosão em sulcos nas estradas de acesso de São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

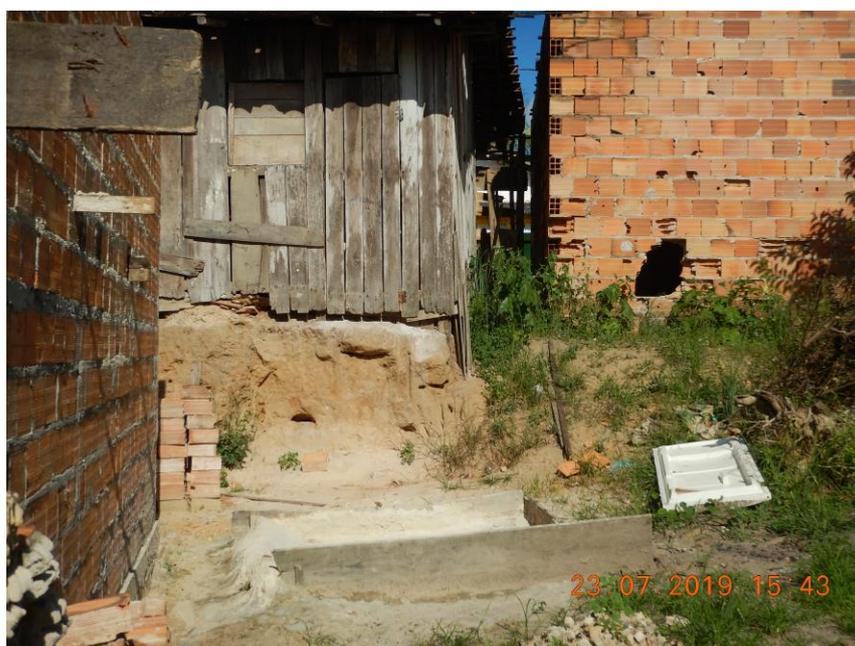
Foram observadas residências muito próximas das bordas das ravinas (Figura 45) e até construídas no topo do talude (Figura 46), além do descarte de água servida diretamente no talude, gerando maior instabilidade no terreno (Figura 47).

Figura 45 – Área urbana do município: residência próxima da borda das ravinas.



Fonte: Autor.

Figura 46– Área urbana do município: residências construídas no topo do talude.



Fonte: Autor.

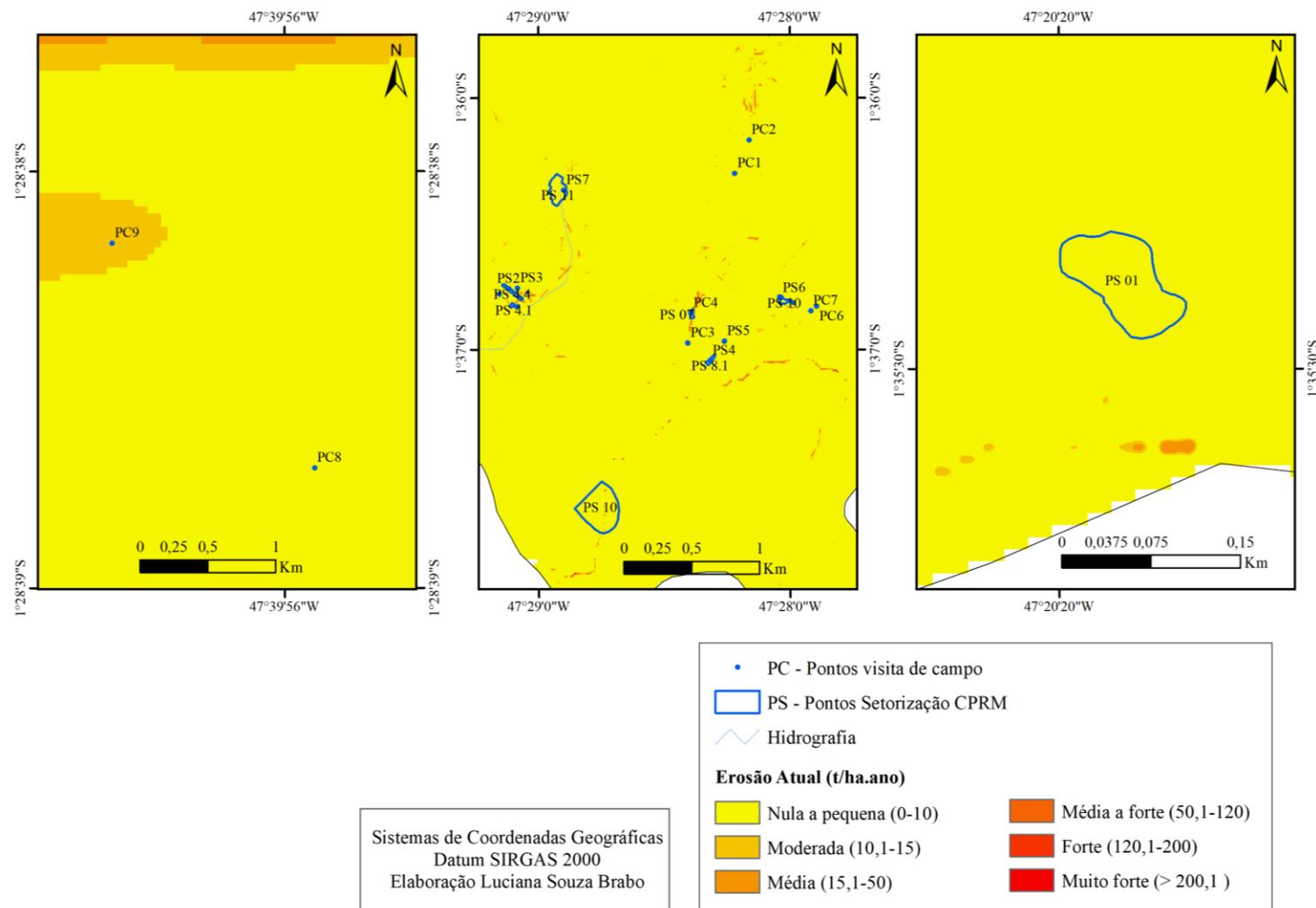
Figura 47 – Área urbana do município: descarte de água servida diretamente no solo.



Fonte: Autor.

Quando os locais de ocorrência de processos erosivos foram plotados no mapa de erosão atual (Figura 48), observou-se que esses pontos ficam muito próximos (no máximo 1 km de distância) ou coincidem com as regiões onde a susceptibilidade se torna mais elevada. Dessa forma, os resultados demonstram que a análise da susceptibilidade erosiva pode contribuir com informações relevantes para o diagnóstico ambiental da área de estudo, pois aponta as possíveis fragilidades do sistema e assim permite buscar possibilidade de ações de remediação e/ou prevenção.

Figura 48– Detalhe dos pontos de erosão mapeados em São Miguel do Guamá.



Fonte: Autor.

6. CONCLUSÃO

A EUPS associada aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permite a análise de influência de cada uma das variáveis envolvidas da equação, além disso, possibilita a distribuição espacial das áreas de susceptibilidade erosiva.

Esse modelo de predição de perdas de solos torna os estudos do potencial erosivo mais acessíveis aos municípios que possuem receita orçamentária limitada, devido à simplicidade de aplicação, cálculos rápidos e com baixo custo, pois os dados utilizados geralmente estão disponíveis de forma gratuita.

A área de estudo está inserida em uma região com elevados índices de erosividade das chuvas. Entretanto, na região norte do país há escassez de estudos sobre erosividade, o que dificulta a comparação dos resultados.

A escala do mapeamento dos tipos de solo (1:250.000) em São Miguel do Guamá, apesar da falta de detalhamento foi adequada para o estudo a nível municipal, entretanto, em estudos a nível local são necessários dados mais detalhados, capazes de detectar manchas de solo mais localizadas.

Quanto ao fator topográfico, o município apresentou declividade menor que 20% e valores muito baixo de comprimento de rampa (< 10m), resultando em uma susceptibilidade erosiva muito baixa.

O fator CP foi construído a partir de imagens Sentinel, com 10 metros de resolução, e apesar dos conflitos de classificação, essa resolução foi adequada para a escala do trabalho. O mapeamento, elaborado em escala de 1:50.000, permitiu diferenciar as principais classes de uso, que possuem comportamentos distintos, frente ao processo erosivo.

Os fatores que mais exerceram influência na variabilidade espacial das perdas de solo foram o fator topográfico (LS), e o uso do solo e práticas conservacionistas (CP). Enquanto o efeito dos demais fatores foram menos perceptíveis. No geral, o relevo plano e a presença de áreas com cobertura vegetal amenizaram o potencial natural erosivo da região.

Os resultados do estudo podem ser utilizados como suporte para o diagnóstico ambiental, pois indicam as fragilidades do local. Além disso, podem ser utilizados para alimentar discussões sobre políticas de uso do solo e de adoção de práticas conservacionistas, bem como embasar estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Diretrizes e análises recomendadas para a consistência de dados pluviométricos**. Brasília, DF: ANA, SGH, 2011. 18 f.
- ALBUQUERQUE, J. **Erosividade das chuvas na bacia hidrográfica do rio Apeú, região nordeste do estado do Pará**. 2013. 60 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013.
- ALMEIDA FILHO, G. S. Controle de erosões. **Revista Fundações & Obras Geotécnicas**, n. 54, p. 72-83, 2015.
- ALMEIDA, H. G. **Carta geológica. Folha SA.23-V São Luís-NO**. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Belém: CPRM, 2000. 1 mapa, color. Escala 1:500.000.
- ANDRADE, M. M. N.; ANDRADE, A. S.; BEZERRA, P. E. S. Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais no estado do Pará (Brasil). **Delos: Desarrollo Local Sostenible**, v. 10, n.30, p. 1-16, 2017.
- AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **HIDRO-PLU Programa de homogeneização de dados pluviométricos**. Brasília, DF: ANEEL/UFV/FUNARBE. 1999. 39 f.
- ARRAES, C. L.; BUENO, R. C. P.; PISSARA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na Microbacia Córrego do Tijuco, SP. **Biosci. J.** Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 849-857, 2010.
- BACCHI, C. G. V.; DONATO, P. H. L. C.; ALMAGRO, A.; ANACHE, J. A. A.; SOBRINHO, T. A. Vulnerabilidade à erosão como Ferramenta no plano de recursos hídricos de bacia hidrográfica. *In*: POLETO, C. (org.). **Estudos ambientais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2017, p. 23-42.
- BARBOSA, A. F.; OLIVEIRA, E. F.; MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C. Aplicação da equação universal de perda do solo (usle) em softwares livres e gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 38, n.1, p. 170-179, 2015. http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_170_179. Acesso em: 05/01/2019.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. *In*: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: Ciência e aplicação**, 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. p. 177-231.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7. ed. São Paulo: Ícone. 2010. 355 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATI JÚNIOR, R. Equação de perdas de solo. Campinas. *In*: **Boletim Técnico**, 21. Instituto Agronômico de Campinas, 1975. 25 p.
- BORGES, K. M. R.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; GOMES, R. A. T.; GUIMARAES, R. F. Vulnerabilidade natural: A perda de solo da bacia do rio Carinhanha (MG/BA) usando uma abordagem qualitativa da equação universal de perda de solos. **GEOgraphia** (UFF), v. 14, n. 27, p. 101-125, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2012.v14i27.a13636>. Acesso em: 05/02/2019.
- BORGES, K.M.R. **Avaliação da susceptibilidade erosiva da bacia do rio Carinhanha (MG/BA) por meio da eups - equação universal de perda de solos**. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2009.

BOUYOUCOS, G. J. The Clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion. **Journal of the American Society of Agronomy**. V. 27, p. 738-741. 1935.

BRASIL. Ministério de Integração Nacional (MI). Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Manual para a decretação de situação de emergência ou de estado de calamidade pública**. Brasília, 2007. 33 p.

CAMARGO, L. J.; SANTOS, K. R. Erosão laminar em áreas de cultivo de cana-de-áçúcar em Ceres (GO). **Revista Geonorte**, v. 10, n. 1, p. 98-102, 2014.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M. Variação espacial da perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas. **Ciência Rural**, v. 38, n. 9, p. 2485-2492, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000900011>. Acesso em: 06/06/2019.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. Implementação em Ambiente computacional e análise de emprego da área de contribuição no cálculo do fator topográfico (LS) da usle. *In*: VII SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO, 7., 2001, Goiânia [**Perspectivas Metodológicas Integradas para Controle de Erosão: anais**]. Goiânia: ABGE, 2001. 1 CD ROM.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372 p.

CASTRO JUNIOR, R. M. **Zoneamento e diagnóstico geoambiental da bacia do Rio Castelo usando geoprocessamento**. 2008. 304 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2008.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED). **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012**: Volume Brasil. 2. ed. Florianópolis: CEPED. UFSC, 2013a. 126 p.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED). **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012**: Volume Pará. 2. ed. Florianópolis: CEPED. UFSC, 2013b. 114 p.

CHAVES, H.M.L. Estimativa da erosão atual e potencial no Vale do São Francisco. *In*: **Relatório Final de Consultoria**. Brasília: CODEVASF – FAO, 1994. 35p.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2013. 336 p.

CORDEIRO, I. M. C. C.; ARBAGE, M. J. C.; SCHWARTZ, G. Nordeste do Pará: Configuração atual e aspectos identitários. *In*: CORDEIRO, I. M. C. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; SCHWARTZ,; OLIVEIRA, F. A. (org.). **Nordeste Paraense: Panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. Belém: EDUFRA, 2017. p. 19-59.

CORDOVIL, G. V. **Pólo cerâmico e dinâmica territorial do desenvolvimento em São Miguel do Guamá - Pará**. 2010. 161 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

COSTA, A. L. C. **Estudo da vulnerabilidade à erosão com a aplicação da equação universal de perda de solo na alta bacia hidrográfica do rio Jacaré Pepira, utilizando SIG/SPRING**. 2005. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

- COSTA, L. C. O. **Trajatória das mudanças de uso e cobertura da terra em estimativas de perda de solo em uma região de expansão agrícola na Amazônia: A bacia do Rio Curuá-Una**, PA. 2018. 102 f. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2018.
- COSTA, T. C. E. C.; FIDALGO, E. C. C.; NAIME, U. J.; GUIMARAES, S. P.; ZARONI, M. J. ; UZEDA, M. C. Vulnerabilidade de sub-bacias hidrográficas por meio da Equação Universal de Perda de Solo e da integração de parâmetros morfométricos, topográficos, hidrológicos e de uso/cobertura da terra no Estado do Rio de Janeiro-RJ. **Revista Ambiente & Água**, v. 4, n. 1, p. 93-116, 2009.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 113 p.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A. F.; SILVA, E. F. Zoneamento ecológico econômico. *In*: FLORENZANO, T. G (org.). **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. P.285-317.
- DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Revista Energia na Agricultura**, v. 29, n. 2. p. 102-114, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2014v29n2p102-114>. Acesso em: 05/02/2019.
- DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Piracicaba-SP, 1990. 81 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1990.
- DESMET, P.J.J.; GOVERS, G.A. GIS Procedure of automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**. V.51, n.5, p. 427-433, 1996.
- DI RAIMO, L. A. D. L.; AMORIM, R. S. S.; TORRES, G. N.; BOCUTI, E. D.; COUTO, E. G. Variabilidade espacial da erodibilidade no estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias (Lisboa)**, v. 42, n. 1, p. 55-67, 2019.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1979. 247p.
- FALESI, I. C.; SANTOS, W. H.; OLIVEIRA, J P S. Levantamento de reconhecimento dos solos da Região Bragantina. Estado do Pará. **Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Belém, v. 2, p. 1-63, 1967.
- FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; TRANCOSO, R. A.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da eups equação universal de perdas de solos utilizando novas metodologias em sig para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 73-87, 2006.
- FERREIRA, A. S.; PINHEIRO, L. A. L. Análise socioeconômica e ambiental da mineração e transformação da argila vermelha e cinza em São Miguel do Guamá. *In*: CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE E ENERGIAS RENOVÁVEIS. Belém, 2016.
- FONSECA, D.; SZLAFSZTEIN, C. Risco geológico. *In*: JOÃO, X., TEIXEIRA, S., FONSECA, D. (org.). **Geodiversidade do estado do Pará**. Belém: CPRM, 2013. p. 119–130.

FOSTER, G. R.; MC COOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to si metric units. **Journal Soil Water Conservation**, v. 36, p. 355-359, 1981.

FRANCISCO, A. B. A erosão de solos no extremo Oeste Paulista e seus impactos no campo e na cidade. **Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino - GEOMAE (Impresso)**, v. 2, n. 2, p. 57-68, 2011.

FUJIHARA, A.K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do Oeste Paulista com suporte de geoprocessamento**. 2002. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS (FAPESPA). **Estatísticas municipais Paraenses: São Miguel do Guamá**. Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da informação. 2016. 58 p.

FUSHIMI, M.; NUNES; TAKATA, L. T. O.; NAKAMURA, R. Y. . Vulnerabilidade ambiental e aplicação de técnicas de contenção aos processos erosivos lineares em áreas rurais do município de Presidente Prudente-SP. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 4, p. 343-356, 2013.

GALDINO, S. **Estimativa da perda de terra sob pastagens cultivadas em solos arenosos da bacia hidrográfica do alto Taquari - MS/MT**. 2012. 115 f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2012.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. Redução dos desastres naturais: Desafio dos geógrafos/Natural disaster reduction: The challenge of geographers. **Ambiência**, v. 9, n. 1, p. 145-172, Jan/Abr. 2013.

-GOMES, L. L. **Avaliação espacial da perda de solo por erosão pela equação universal de perda do solo (EUPS) – pilha de estéril sul – Carajás/PA**. 2012. 172 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

GUERRA, A. J. T. Início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, temas e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 17-50.

HOLANDA, C.V.M., OLIVEIRA, E. Programa para homogeneização de dados – PROHD. In: SIMPÓSIO DE HIDROLOGIA, 3, 1979, Brasília. Anais. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 810-845, 1979.

HUFFNER, J. G. P. **Inventário da oferta turística de São Miguel do Guamá**, SETUR, PA, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estatísticas por cidade e estado**. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/sao-miguel-do-guama/panorama>. Acesso em: 19/06/2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico de uso da terra**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013a. 171 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa de Informações Básicas Municipais. **Perfil dos municípios brasileiros**. Coordenação de População e Indicadores Sociais - Rio de Janeiro, 2013b. 282 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa de Informações Básicas Municipais. **Perfil dos municípios brasileiros**. Coordenação de População e Indicadores Sociais - Rio de Janeiro, 2017. 106 p.

JULIÃO, R. P.; NERY, F.; RIBEIRO, J. L.; BRANCO, M. C.; ZÊRERE, J. L. **Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (sig)**. Lisboa: Autoridade Nacional de Proteção Civil, 2009. 93 p.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVEZ, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de desastres naturais: Conceitos Básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109p.

LANZA, D.S. **Diagnóstico da erosão laminar na alta e média bacia do rio Paraopeba**. 2011. 151 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011.

LEITE, A. S.; SOMBRA, D.; SOMBRA, A. Desenvolvimento local e gestão de recursos naturais em São Miguel do Guamá (Pará/Brasil): Aprendizagem territorial, cooperação e inovação no arranjo produtivo local de indústrias ceramistas. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, v. 14, p. 1-41, 2018.

LEMONS, R. C. de; SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta no campo**. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1996. 83 p.

LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos. 2010. 216p.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M.; EID, N. J.; MARTINS, E. S.; KOIDE, S.; REATTO, A. Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da bacia experimental do Alto Rio Jardim - DF. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 2, p. 21-34, 2007.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: Sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas-SP. **Bragantina**. Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

LOPES, M. S.; SALDANHA, D. L. Análise de vulnerabilidade natural à erosão como subsídio ao planejamento ambiental do oeste da bacia hidrográfica do Camaquã - RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 9, p. 1689-1708, 2016.

MACHADO, E. C. M. N.; FURTUNADO, O. M.; PINTO, E. J. A. Espacialização dos dados de precipitação anual e trimestrais da bacia do rio de Contas (Sub-Bacia 52). In: XIV WORLD WATER CONGRESS, 2011, Porto de Galinhas-PE. 2011.

MAFFRA, C. Q. T.; MAZZOLA, M. As razões dos desastres em território brasileiro. In: SANTOS, R. F. (org.). **Vulnerabilidade Ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?**. Brasília: MMA, 2007. p. 9-12.

MAFRA, N. M. C. Erosão e planificação de uso do solo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, temas e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 301-322.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETTI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum (UEM)**, Maringá, v. 24, n.5, p. 1335-1340, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v24i0.2374>. Acesso em: 05/02/2019.

MARCUZZO, F. F. N.; MELATI, M. D. Cálculo de densidade pelos critérios da OMM e espacialização de novas estações P e Pr na Sub-Bacia 85. *In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 21., 2015, Brasília, DF. **Anais [...]** do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH, v. 1. p. 1-8. 2015.

MATA-LIMA, H.; ALVINO-BORBA, A.; PINHEIRO, A.; MATA-LIMA, A.; ALMEIDA, J. A. Impactos dos desastres naturais nos sistemas ambiental e socioeconômico: O que faz a diferença?. **Ambiente & Sociedade** (Online), v. 16, n. 3, p. 45-64, Jul/Set. 2013.

MATOS, T. V. S. **Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na Equação Universal de Perda de Solo (USLE)**. 2015. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MEDEIROS, G. O. R. **Diagnóstico da erosão e a expansão da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**. 2016. 279 f. Tese (Doutorado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2016.

MELLO, L. B.; SIMÕES, P. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa em São Miguel do Guamá-PA**. Belém: CPRM, 2015.

MILANEZI, C. H. S.; PEREIRA, J. G. Caracterização da vulnerabilidade ambiental na microbacia do Córrego Azul, Ivinhema - MS. **Geografia** (Londrina), v. 25, n. 1, p. 43-63, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/2447-1747.2016v25n1p43>. Acesso em: 06/02/2019.

MIQUELONI, D. P.; BUENO, C. R. P.; FERRAUDO, A. S. Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1358-1367, 2012. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900021>. Acesso em: 06/02/2019.

MORAIS, R. C. S.; SALES, M. C. L. estimativa do potencial natural de erosão dos solos da bacia hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso de sistema de informação geográfica / Estimation of the natural soil erosion potential of the Upper Gurguéia basin, Piauí-Brazil (...). **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 1, p. 84-105, 2017.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1989. 421 p.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C; RODRIGUES, T. E.; MELO, A. S. A erosividade das chuvas nos municípios de Bragança e Marabá no estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Ciências da Terra, Belém, n. 4, p.45-57, 1992.

OLIVEIRA, J. S. **Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solos em ambiente SIG**. 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2012.

OLIVEIRA, M. A. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. *In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.). Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, temas e aplicações*. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 57-94.

OLIVEIRA, P. L. G. **Análise do potencial de erosão laminar na sub-bacia Ribeirão Ponte Alta (DF) utilizando a EUPS**. 2018. 49 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação), Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2018.

- RODRIGUES, J. A. M.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; RODRIGUES, M. C. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Cervo - MG. **Geociências**, v. 36, n. 3, p. 531-542, 2017.
- ROSA, A. G.; SOUSA, A. M. L.; COSTA, J. A.; SOUZA, E.B. Erosividade da chuva em Rondon do Pará, PA, Brasil de 1999 a 2015 e projetada para 2035. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 4, p. 1006-1021, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1956>. Acesso em 08/06/2019.
- SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. *In*: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, temas e aplicações. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 229-265.
- SANTORO, J. Erosão Continental. *In*: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (org.). **Desastres naturais**: Conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 53-70.
- SANTOS JUNIOR, W. M.; COSTA, V. C. Uso da terra e cobertura vegetal no maciço Gericinó-Mendanha (RJ): Classificação semiautomática por imagens multiespectrais do satélite Sentinel-2. *In*: WORKSHOP ARTE & CIÊNCIA, 2017, Rio de Janeiro, v. 1. p. 1-13. 2017.
- SANTOS, D. B. O. **Aplicação da rusle em uma pequena bacia hidrográfica Amazônica**. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado). Programa de pós graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.
- SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO (SEPLAN). **Plano plurianual 2016-2019 do governo do estado do Pará**. Diretoria de Planejamento. Belém. v. 3, 2015.
- SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL (SEDEC). **Glossário de defesa civil, estudos de riscos e medicina de desastres**. Ministério da Integração Nacional. 2015. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=71458606-5f48-462e-8f03-4f61de3cd55f&groupId=10157>. Acesso em 15/06/2018.
- SERIO, J.; COSTA, C.A.G.; TEIXEIRA, A. S.; ORTEGA E. 2008. Aplicação da usle e sig na caracterização de três micro bacias hidrográficas no Brasil. **Revista Acadêmica Ciências Agrária Ambiental**, 6(2): 213-221.
- SILVA, L. C. N.; LUCHIARI, A. Estimativa de perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do Córrego Baguaçu - SP. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, v. 32, p. 15-28, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v32i0.114308>. Acesso em 15/06/2018.
- SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LIMA, J.D.; FERREIRA, M.M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos Brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 35, n. 6, p. 1207-1220. 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000000600018>. Acesso em 08/06/2019.
- SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. S. SIG na Análise Ambiental: Susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima - Minas Gerais. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 31, n. 2, p. 66-87, 2014.
- SILVA, V. C. da. Cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS, na bacia do rio Paracatu. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v 33, n. 1, p. 29-34, 2003.
- SILVA, V.C. Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 3, 2004, p. 147-159.

SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F. G. A avaliação da geração de sedimentos ao longo da bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo. Potencial natural de erosão, feições morfológicas e cicatrizes de movimentos de massa. **Geociências**, v. 36, n. 2, p. 285-299, 2017.

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, A. F.; PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. **Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na bacia do Peixe – Paranapanema**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROÇÃO, 3., 1987, Marília. Anais... ABGE/DAEE, v.1, p. 105-135, 1987.

TAVARES, A. C. F. **Diagnóstico agroambiental para gestão do uso da terra da microbacia do rio Jundiá-Mirim**. 2001. 103 f. Dissertação (Mestrado). Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico, 2001.

THOMAZIELLO, S. Usos da terra e sua influência sobre a qualidade ambiental. In: SANTOS, R. F (org.). **Vulnerabilidade Ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?**. Brasília: MMA, 2007. p. 23-38.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. A sistematização dos fatores da eupes em sig para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n. 3, p. 235-244, 2005.

TOMINAGA, L. K. Desastres Naturais: Por que ocorrem?. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 11-23.

TORRES, M. F. **A Pesca ornamental na bacia do rio Guamá: Sustentabilidade e perspectivas ao manejo**. 2007. 287 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: SUPREN, 1977.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Curso de capacitação para usuários do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2ID: Módulos de registro e de reconhecimento**. 3. ed. Florianópolis: CEPEDUFSC, 2014. 178 p.

VALENTIN, E.F.D. **Modelagem dinâmica de perdas de solo: O caso do alto curso da bacia hidrográfica do rio Descoberto-DF/GO**. 2008. 149 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2008.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G (org.). **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. p. 72-104.

VASQUEZ, M. L.; SOUSA, C. S.; CARVALHO, J. M. A. (org.). **Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Pará**. Programa Geologia do Brasil (PGB). Integração, atualização e difusão de dados de Geologia do Brasil. Belém: CPRM, 2008. 1 mapa, color. Escala 1:1.000.000.

VIEIRA, M. N. F.; VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C.; CHAVES, R. S. **Levantamento e conservação do solo**. 2. ed. Belém: FCAP, Serviço de documentação e informação. 2000. 320 p.

WEILL, M. A. M.; PIRES NETO, A. G. Erosão e Assoreamento. In: SANTOS, R. F. (org.). **Vulnerabilidade ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?**. Brasília: MMA, 2007. p. 39-58.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the rocky mountains**. Washington: U.S. Department of Agriculture, n. 282, 47 f. 1965.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to consevation planning. U.S. Department of Agriculture, **Washington**. 1978. 58 p.

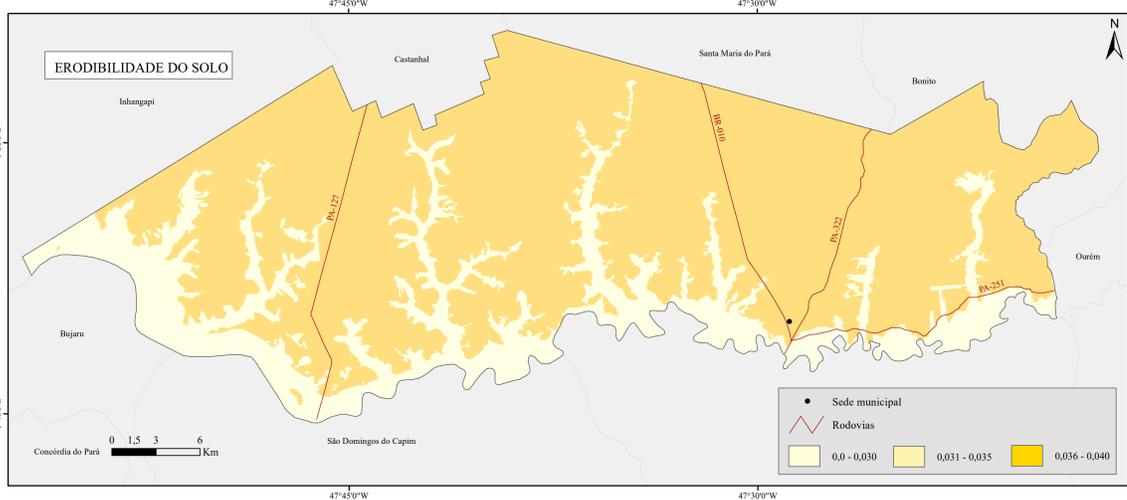
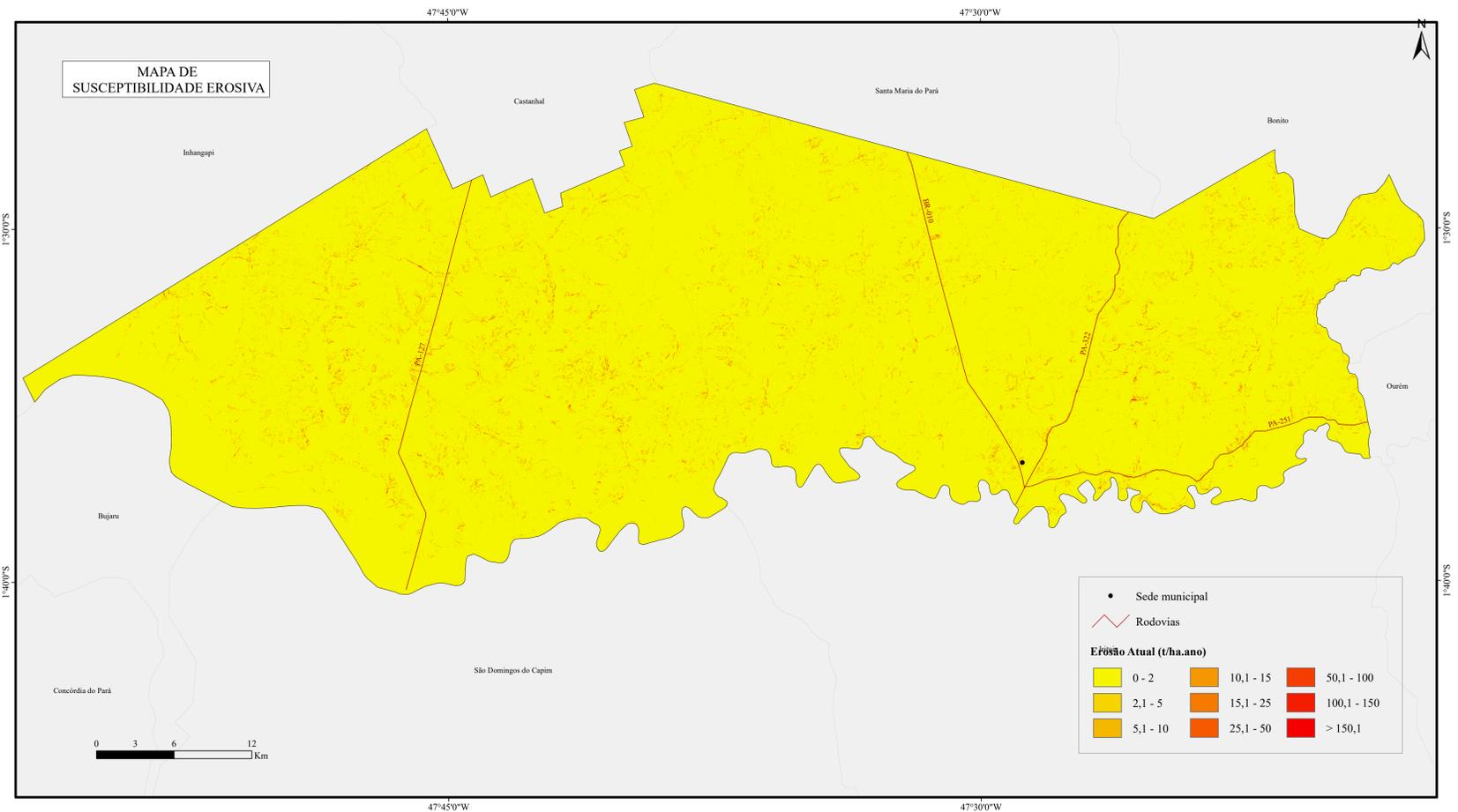
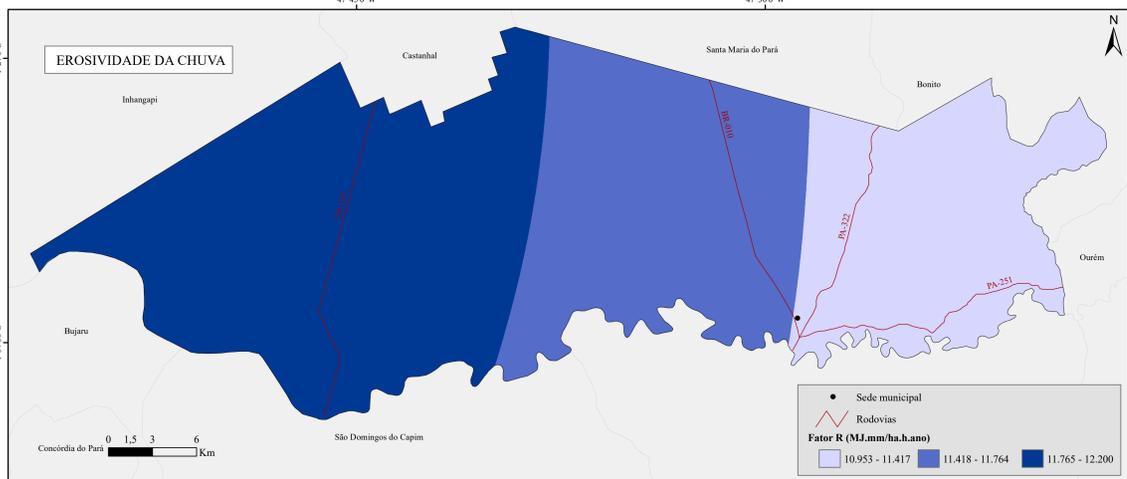
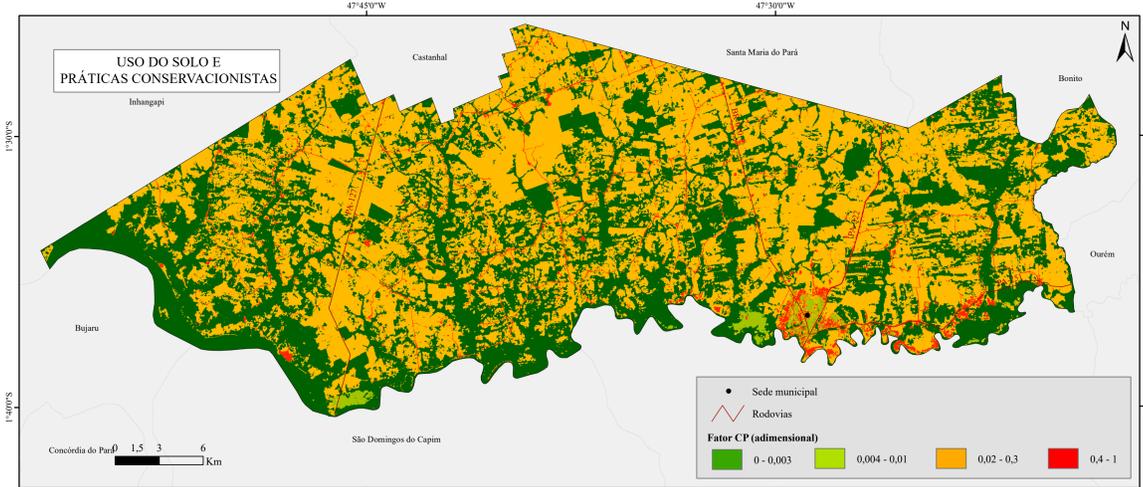
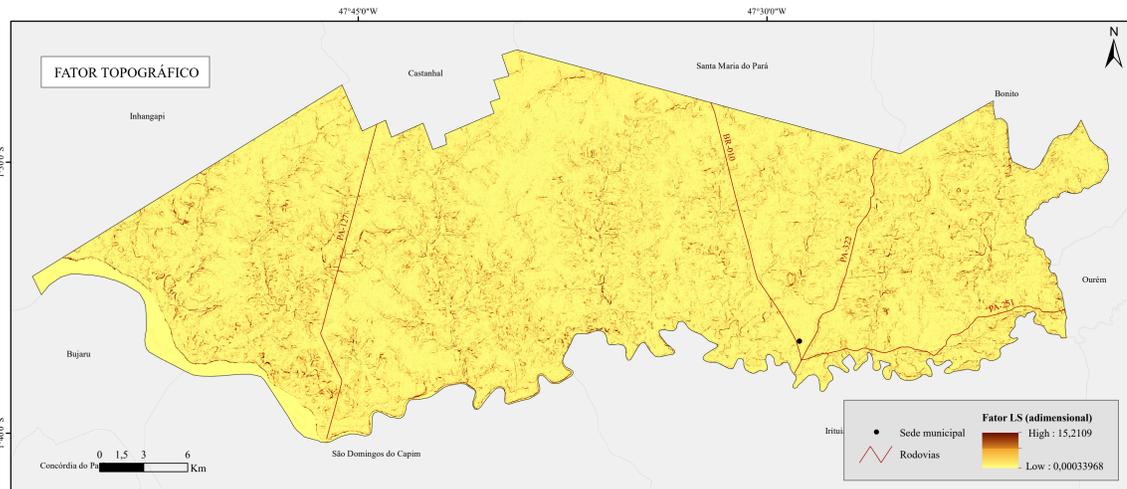
WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **J. Soil Water Cons.**, Ankeny, v. 26, p. 189-193, 1971.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). Methods of observation. *In*: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Guide to hydrological practices**: Hydrology from measurement to hydrological information. 6. ed. Geneva: WMO, 2008. v. 1, cap. 2, p. 25-60. (WMO, n. 168).

ZANELLA, M. E.; OLIMPIO, J. L.; COSTA, M. C. L.; DANTAS, E. W. C. Vulnerabilidade socioambiental do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Cocó, Fortaleza-CE. **Sociedade & Natureza** (UFU. Impresso), v. 25, n. 2, p. 317-332, 2013.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES NATURAIS NA AMAZÔNIA

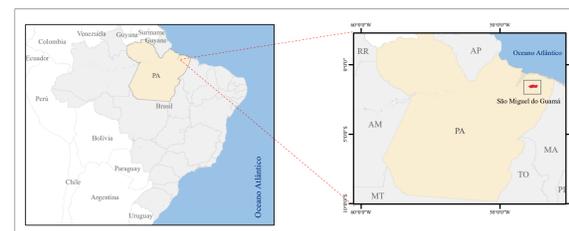


A Equação Universal de Perda do Solo é um modelo matemático de cunho empírico capaz de descrever e prever a ocorrência de processos de erosão hídrica laminar (FARINASSO et al., 2006). Foi proposta pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) como uma ferramenta que permite definir áreas de vulnerabilidade à erosão (MATOS, 2015).
A EUPS foi proposta por Wischmeier e Smith (1965) e calcula a perda de solo (A) a partir da integração de fatores naturais e antrópicos, sendo expressa pela seguinte equação:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Onde:

- “A” é a perda de solo laminar em t/ha.ano;
- “R” é o fator de erosividade das chuvas em MJ.mm/ha.h.ano;
- “K” é o fator de erodibilidade do solo em t/MJ.mm;
- “L” é o fator comprimento de rampa (adimensional);
- “S” é a declividade (adimensional);
- “C” é o fator uso e manejo (adimensional);
- “P” é o fator práticas conservacionistas (adimensional).



DADOS TÉCNICOS
Sistemas de Coordenadas Geográficas
Datum: SIRGAS 2000
Elaborado por Luciana Souza Brabo
Produto técnico pertencente à dissertação
Potencial erosivo de São Miguel do Guamá, nordeste paraense
Autoria: Luciana Souza Brabo
Programa de Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia
Universidade Federal do Pará