



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

YASMIN ALEIXO RIBEIRO

**MODELAGEM DA PERDA DE SOLO NO CONTEXTO DE MUDANÇAS
CLIMÁTICAS PARA O MUNICÍPIO DE NOVA IGUAÇU (RJ)**

Profa. Dra. CLAUDIA MOSTER
Orientadora

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO - 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

YASMIN ALEIXO RIBEIRO

**MODELAGEM DA PERDA DE SOLO NO CONTEXTO DE MUDANÇAS
CLIMÁTICAS PARA O MUNICÍPIO DE NOVA IGUAÇU (RJ)**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Profa. Dra. CLAUDIA MOSTER
Orientadora

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2025



HOMOLOGAÇÃO Nº 22 / 2025 - DeptCAmb (12.28.01.00.00.00.29)

Nº do Protocolo: 23083.037547/2025-50

Seropédica-RJ, 11 de julho de 2025.

**MODELAGEM DA PERDA DE SOLO NO CONTEXTO DE MUDANÇAS
CLIMÁTICAS PARA O MUNICÍPIO DE NOVA IGUAÇU (RJ)**

YASMIN ALEIXO RIBEIRO

APROVADA EM: 30/06/2025

BANCA EXAMINADORA:

Profª. Dra. CLAUDIA MOSTER – UFRRJ

Orientadora

MONIQUE MUNIZ MONTEIRO DIAS – UFRRJ

Membro

JORGE EDUARDO LEON SARMIENTO – USP

Membro

(Assinado digitalmente em 11/07/2025 14:47)

CLAUDIA MOSTER
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptCamb (12.28.01.00.00.00.29)
Matricula: 3063003

(Assinado digitalmente em 11/07/2025 14:59)

MONIQUE MUNIZ MONTEIRO DIAS
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 872.533.307-06

(Assinado digitalmente em 11/07/2025 14:52)

JORGE EDUARDO LEON SARMIENTO
ASSINANTE EXTERNO
Passaporte: PE143173

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **22**, ano: **2025**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO**, data de emissão: **11/07/2025** e
o código de verificação: **0e25c9e234**

Dedico a todos que acreditaram em mim e deram-me apoio durante esta trajetória, em especial meus pais, amigos e demais familiares.

AGRADECIMENTOS

Venho expressar meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram positivamente durante a minha graduação.

Agradeço a Deus, aos meus pais, que sempre me deram o apoio e suporte necessário para que eu chegasse até aqui, sem eles isso não seria possível.

Agradeço a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, que foi como a minha segunda casa e me proporcionou um ensino superior gratuito, de qualidade, onde pude aprender com excelentes professores.

Agradeço aos meus amigos que fiz durante a graduação, e que me ajudaram diversas vezes em trabalhos, disciplinas, ou mesmo me dando o apoio necessário, em especial, Nathália e Gabriella. Agradeço também ao PET Floresta, que foi como uma segunda família para mim, me proporcionando aprendizados e experiências inesquecíveis que foram essenciais para a formação do indivíduo e profissional que sou hoje. Agradeço a professora Vanessa Basso também.

Agradeço a professora Claudia Moster pela sua competência, orientação neste trabalho, e também pela paciência. Suas orientações foram essenciais para o aprimoramento das ideias e para a conclusão desta monografia.

Agradeço também ao meu companheiro Luis Felipe, que sempre esteve ao meu lado desde o início da graduação, sua presença e apoio foram fundamentais.

De um modo geral, a todos que acreditaram em mim, me incentivaram, apoiaram e fizeram com que um sonho se tornasse possível.

RESUMO

O trabalho teve como objetivo estimar a perda de solo do município de Nova Iguaçu (Rio de Janeiro), por meio do módulo *Sediment Delivery Ratio* da ferramenta InVEST, considerando cenários de uso do solo e mudanças climáticas, como subsídio para identificação de sub-bacias com predominância de processos erosivos. Foram utilizados como dados de entrada: uso e cobertura do solo, erodibilidade do solo, erosividade das chuvas, modelo digital de elevação do terreno, limites das sub-bacias no município, uma tabela biofísica com parâmetros do modelo e as condições climáticas dos cenários SSP1-2.6, SSP2-4.5 e SSP5-8.5 do IPCC. Os resultados demonstraram que a perda de solo para o município de Nova Iguaçu tem mais relação com o uso e cobertura do que as mudanças no clima. As sub-bacias prioritárias para ações de manejo foram identificadas como Rio Abel e Rio Botas, responsáveis pela perda de 24,79% e 16,92% de solo, respectivamente, na área total do município. Considerando o cenário proposto para aumento da cobertura florestal na sub-bacia Rio Botas, seria possível a redução de 30,85% da perda de solo nessa área de drenagem, e de 5,22% para o município. Dessa forma, a ferramenta InVEST facilitou a priorização de áreas para intervenções visando a redução da perda de solos na escala do município, e os resultados demonstraram maior importância para a implementação de práticas que promovam a conservação do solo por meio do aumento da cobertura florestal, frente aos desafios das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Serviços ecossistêmicos, Erosão, InVEST

ABSTRACT

This study aimed to estimate soil loss in Nova Iguaçu, Rio de Janeiro, using the Sediment Delivery Ratio (SDR) module of the InVEST model, considering land use and climate change scenarios for identification of sub-basins predominantly affected by erosive processes. Input data included: land use and land cover, soil erodibility, rainfall erosivity, a digital elevation model, sub-basin boundaries, a biophysical table with model parameters, and climatic conditions from the IPCC's SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5 scenarios. The results demonstrated that soil loss in Nova Iguaçu is more closely related to land use and land cover than to climate change. Priority sub-basins for management actions were identified as Rio Abel and Rio Botas, responsible for 24.79% and 16.92% of the total soil loss, respectively. Considering a proposed scenario for increased forest cover in the Rio Botas sub-basin, it would be possible to reduce soil loss by 30.85% in that drainage area, and by 5.22% for the municipality. Thus, the InVEST tool facilitated the prioritization of areas for interventions aimed at municipal scale's soil loss reduction, and the results highlighted the greater importance of implementing practices promoting soil conservation through increased forest cover, considering the challenges posed by climate change.

Keywords: Ecosystem services, Erosion, InVEST

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Desastres naturais e vulnerabilidade urbana	3
2.2 Serviços ecossistêmicos e Adaptação baseada em Ecossistemas.....	3
2.3 Modelagem Ecológica.....	4
2.4 Projeções de cenários de Mudanças Climáticas.....	5
2.5 Contexto do estudo: Nova Iguaçu.....	5
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	7
3.1 Simulação de cenários: mudança no uso do solo.....	10
3.2 Simulação de cenários: mudança no uso do solo.....	11
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
4.1 Simulação de cenários: mudança no uso do solo.....	15
4.2 Simulação de cenários: mudanças climáticas.....	18
5 CONCLUSÕES.....	19
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o assunto de mudanças climáticas tem ganhado muita notoriedade. Essas mudanças climáticas provocadas por atividades humanas já exercem impacto sobre muitos fenômenos climáticos e meteorológicos extremos por todo o planeta e, como resultado disso, têm-se ocorrido consequências prejudiciais em larga escala, perdas e danos relacionados à natureza e às pessoas (IPCC, 2023).

No Brasil, grande parte dos desastres ambientais que ocorrem estão relacionados aos eventos extremos do clima, ocasionados ou intensificados pelas alterações climáticas (Calado; Valverde; Vasconcelos, 2020). O país é o único das Américas presente na lista dos 10 países com maior número de pessoas afetadas por desastres entre os anos de 1995 e 2015 (Barrera; Souza; Martins, 2018).

A colaboração entre os efeitos da mudança de uso do solo, somados ao desmatamento, ao alto grau de fragmentação e a degradação dos biomas brasileiros, aumentam a fragilidade dos nossos ecossistemas, o que coloca em risco a biodiversidade e a prestação dos serviços ecossistêmicos (Artaxo, 2020). De todos os biomas brasileiros, a Mata Atlântica destaca-se como um dos mais degradados devido à ação antrópica, por conta de sua grande abundância de espécies endêmicas associada a intensa redução de áreas de floresta causada por intervenções humanas, ela é considerada um *hotspot* de biodiversidade (Myers *et al.*, 2000).

O tipo de manejo e uso do solo podem modificar os aspectos físicos, químicos e biológicos dos solos (Carneiro *et al.*, 2009). Uma das consequências da eliminação de cobertura vegetal é o aumento dos processos erosivos, principalmente relacionados à erosão hídrica (Alves *et al.*, 2023). Essas alterações nos ecossistemas trazem extrema degradação do meio ambiente e, entender como funcionam esses processos erosivos e sua velocidade de ação, é indispensável para o planejamento de ações de conservação (Avanzi *et al.*, 2013).

O uso do solo e o escoamento superficial estão intimamente relacionados, isto porque as diferentes formas de ocupação da paisagem podem facilitar ou dificultar a infiltração de água no solo, o que influencia no escoamento superficial e relaciona-se também com o aumento dos processos de erosão e o transporte de sedimentos (Silva, 2012). De um modo geral, áreas com maior cobertura florestal possuem maior permeabilidade do solo e contribuem para redução dos impactos do escoamento superficial (Fernandes *et al.*, 2013) e, consequentemente para a redução do risco de alagamentos e sobrecarga do sistema de drenagem (Locatelli *et al.*, 2017).

As mudanças no uso do solo e cobertura vegetal, especialmente a degradação das florestas, ocasionam o aumento da erosão e podem afetar diretamente o provimento de serviços ecossistêmicos (Santos; Vendrusculo; Zolin, 2023) e também afetar as funções ecossistêmicas como permeabilidade da água no solo e interceptação da água da chuva. Uma das consequências disto é o aumento da ocorrência dos desastres ambientais que têm ocorrido nos últimos anos relacionados aos alagamentos, enchentes e inundações e em áreas urbanas. Esses eventos afetam uma grande quantidade de pessoas, além de ocasionarem prejuízos econômicos significativos (Amaral; Ribeiro, 2012).

Um exemplo de município da região sudeste que sofre com essas problemáticas é a cidade de Nova Iguaçu/RJ, que se localiza na região da Baixada Fluminense. O município enfrenta desafios relacionados à ocupação urbana, como a degradação e o assoreamento dos corpos hídricos, em razão do lançamento direto de efluentes domésticos e industriais, do descarte inadequado de lixo, do aporte de sedimentos oriundos de áreas desmatadas e erodidas, e da supressão da vegetação ciliar (Costa, 2020).

Nos últimos anos, o município de Nova Iguaçu tem registrado a ocorrência de eventos extremos, como é o caso da ocorrência de chuvas intensas em 2022, que resultaram em graves prejuízos a propriedades públicas e privadas devido a alagamentos, inundações, enxurradas e

deslizamentos, impactando aproximadamente 800 mil pessoas (PREFEITURA DE NOVA IGUAÇU, 2022). Diante disso, ressalta-se a importância do planejamento de ações que busquem reduzir o risco de alagamentos, inundações, enxurradas e deslizamentos de terra. Uma das estratégias que têm ganhado destaque são abordagens de Adaptação baseada em ecossistemas (AbE) que consiste no aproveitamento dos serviços ecossistêmicos e da diversidade biológica como estratégia para apoiar a sociedade na adaptação aos efeitos das mudanças climáticas (CBD, 2009).

Uma das políticas públicas adotadas no município que contribui, indiretamente, para enfrentamento de riscos de desastres é o Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (PMMA). Este foi elaborado através do Projeto Biodiversidade e Mudanças Climáticas na Mata Atlântica, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, no qual sua principal abordagem foi a de Adaptação baseada em Ecossistemas ou AbE (GIZ, 2020b). Logo, o PMMA de Nova Iguaçu é todo pautado nesta abordagem. Nesse contexto, dentro do PMMA de Nova Iguaçu há seis objetivos gerais. Dentre eles, destaca-se o terceiro, que consiste em reduzir processos erosivos nas encostas do Maciço do Mendanha fortalecendo a proteção do ecossistema (NOVA IGUAÇU, 2020). Para alcançar este objetivo existem várias estratégias e ações associadas, no contexto de AbE, uma das ações que pode ser feita é a recuperação da vegetação nessas encostas.

Existem ferramentas que podem ser utilizadas para auxiliar no planejamento de ações para o alcance deste objetivo, como é o caso da modelagem de serviços ecossistêmicos. Se a recuperação da vegetação nas encostas objetiva obter os serviços ecossistêmicos de contenção de erosão, seria essencial uma modelagem da erosão do solo. A modelagem econômico-ecológica possui uma ampla aplicabilidade e permite resultados mais realistas para a preservação e gestão dos serviços ecossistêmicos. Entre suas vantagens fundamentais, destacam-se a possibilidade de elaborar diferentes cenários e a abordagem dinâmica da trajetória dos fluxos de serviços ecossistêmicos (Andrade, 2010).

Os modelos econômico-ecológicos podem desempenhar um papel crucial no planejamento do uso da terra, visto que uma decisão referente a isto, focada apenas em maximizar lucros a curto prazo pode comprometer serviços ambientais vitais, prejudicando a viabilidade futura do uso da terra escolhido (Andrade; Romeiro, 2013). Sendo assim, os modelos são importantes ferramentas de apoio e decisão, uma vez que possuem a capacidade de prever o comportamento esperado de um sistema a partir das variáveis que são alteradas no processo (Lattari, 2018).

O *software* InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*) é um exemplo de ferramenta de modelagem ecológica, que vem sendo amplamente utilizado para demonstrar o potencial dos investimentos em infraestrutura verde (Hamel *et al.*, 2021). Além de ser gratuito e de código aberto, possibilitando a modelagem de uma gama de serviços ecossistêmicos, o InVEST apresenta um potencial enorme para subsidiar tomadas de decisão. Com isso, este trabalho objetivou utilizar a modelagem ecológica InVEST para estimar a perda de solo por erosão laminar nas sub-bacias do município de Nova Iguaçu, visando priorizá-las para execução de ações para contenção e redução dos processos erosivos em todo o município, e simular cenários de mudança no uso do solo e mudanças climáticas para verificar os seus impactos na perda de solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Desastres naturais e vulnerabilidade urbana

A ocorrência de eventos climáticos extremos, resultados das mudanças clima, possui uma correlação direta com os desastres ambientais, agindo como um fator desencadeante para desastres como as inundações, enxurradas, deslizamentos de terra, destruição por vendavais, entre outros (Alvalá; Barbieri, 2017). O desastre pode ser definido como uma interferência grave no funcionamento de uma comunidade ou sociedade, que inclua perdas materiais, econômicas, ambientais ou mortes em grande escala, cujos efeitos ultrapassam a capacidade da comunidade ou da sociedade atingida de responder com os próprios meios (UN-ISDR, 2012).

A vulnerabilidade aos desastres ambientais se relaciona com a susceptibilidade do sistema socioeconômico aos efeitos advindos de eventos destrutivos. É um produto da combinação de vários fatores, como condições anteriores envolvendo comportamento humano e funcionamento das infraestruturas, alerta precoce, conhecimento do evento natural, administração e políticas públicas, habilidade de articulação em todas as áreas da gestão de desastres e, além disso, a condição socioeconômica (Gonçalves, 2012).

A vulnerabilidade aos desastres está fortemente relacionada com a condição econômica dos grupos sociais (Blaikie *et al.*, 1996). As comunidades mais vulneráveis como as pessoas pobres, pretas, comunidades ribeirinhas, povos originários, entre outros, são as que menos contribuem para os efeitos da mudança do clima e as que mais são atingidas pelos impactos da mesma, como os desastres ambientais (Coitinho, 2024). Estes grupos sociais mais vulneráveis tendem a se concentrar em áreas urbanas de menor valor, que, por consequência, são também as mais vulneráveis do ponto de vista ambiental (Lavell, 1999). Isso se dá por conta do aumento populacional associado à migração populacional para áreas urbanas, de forma acelerada e sem o planejamento adequado, o que levou a essa população de menor poder aquisitivo a se encontrar sem opção, a não ser ocupar esses lugares impróprios (Delgado; Catelani; Batista, 2006).

No período de 1991 a 2010, foram registrados 31.909 desastres que impactaram a vida de mais de 96 milhões de pessoas e forçaram mais de 6 milhões a abandonarem suas casas (CEPED UFSC, 2012.). Já de 2013 a 2023, 5.233 Municípios foram afetados por desastres, onde foram registradas 64.742 decretações de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública (Brasil, 2024).

No município de Nova Iguaçu, área de estudo em questão, os desastres naturais mais representativos são os deslizamentos e inundações, o que pode ser justificado pela grande presença de pastagens que ocupam expressivas áreas das feições geomorfológicas de captação de água, o que aumenta o escoamento superficial da água ao longo das bacias (Nova Iguaçu, 2020). Em um estudo realizado pela Secretaria Municipal de Defesa Civil, foram identificadas 76 regiões vulneráveis à ocorrência de deslizamentos entre 2010/2011 e mais 25 entre 2017/2018 em Nova Iguaçu, já em relação a inundações e alagamentos, identificou-se 145 pontos a partir do ano de 2013 (Nova Iguaçu, 2019b).

2.2. Serviços ecossistêmicos e Adaptação baseada em Ecossistemas

Os serviços ecossistêmicos podem ser definidos como os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, como as florestas, pastagens, manguezais, entre outros, e eles interferem no bem-estar humano em todos os aspectos, até mesmo nas necessidades mais básicas (MEA, 2005). No relatório síntese da Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA), os serviços ecossistêmicos foram classificados em quatro categorias: serviços de provisão

(alimentos, água, madeira, etc.), serviços de regulação (clima, doenças, qualidade da água, etc.), serviços culturais (recreação, espiritualidade, estética) e serviços de suporte (formação do solo, fotossíntese, ciclo de nutrientes). A regulação da erosão se enquadra na categoria de serviços de regulação, segundo a MEA.

A AbE é uma ferramenta que promove a restauração, conservação e uso sustentável dos serviços ecossistêmicos, sua implementação exige: integração, análise de vulnerabilidade, análise das opções de adaptação, priorização de escolhas e monitoramento (Dullius, 2017). Ações de AbE contribuem para a redução do risco de desastres, uma vez que ecossistemas saudáveis ajudam na proteção de infraestruturas e no aumento da segurança humana, funcionando como barreiras naturais que atenuam os impactos de eventos climáticos extremos (Colls; Ash; Ikkala, 2009).

2.3. Modelagem ecológica

O processo de erosão pode ser entendido como a degradação física seguida do transporte e posterior deposição do solo, causada por agentes como a água e o vento, ressalta-se que a presença de vegetação atua diretamente na redução da erosão. (Bertoni; Lombardi Neto, 2012). A erosão causada pela água é denominada erosão hídrica e, neste caso, a degradação e transporte são realizados por meio do impacto das gotas de chuva e pelo escoamento superficial da água (Bertoni; Lombardi Neto, 2012).

O solo fornece diversos serviços ecossistêmicos e é considerado um recurso não renovável, visto que o seu processo de formação envolve uma série de processos físico-químico-biológicos que levam milhares de anos para acontecer, sendo assim, seu uso inadequado pode comprometer esses benefícios providos à sociedade (Garcia; Romeiro, 2013). Assim, ressaltando a importância de promover ações que contribuam para a redução da perda de solo, como é o caso da recuperação de cobertura vegetal.

No Brasil, a erosão hídrica é a que possui maior importância (Lepsch, 2016). Com isso, diversos pesquisadores se dedicaram ao desenvolvimento de modelos matemáticos que são capazes de estimar a perda de solo por erosão (Amorim, 2003). Os modelos são desenvolvidos com o objetivo de estruturar a compreensão de sistemas e conceitos, analisar dados observacionais, esclarecer as interações entre os componentes, delimitar problemas e realizar previsões (Angelini, 1999).

Um dos modelos mais conhecido e utilizado para estimar erosão é a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), seu uso em escalas regionais é adequado para análises qualitativas da erosão hídrica laminar, permitindo identificar e estimar, de forma espacializada, as áreas com maior ou menor propensão à erosão (Barbosa *et al.*, 2015). Além dos modelos matemáticos, várias outras ferramentas e instrumentos vêm sendo elaborados no campo da modelagem ecológica. Dentre eles, a ferramenta InVEST (*Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs*) pode ser utilizada para a aplicação da USLE. O InVEST é um *software* de código aberto, utilizado para o mapeamento e a valoração de bens e serviços dos ecossistemas, desenvolvido pelo *Natural Capital Project* (Sharp *et al.*, 2020).

Com a ajuda do InVEST, responsáveis pela tomada de decisões em instituições governamentais e da sociedade, conseguem quantificar e avaliar formas de gerenciamento e, além disso, identificar as opções mais adequadas de investimento em capital natural, auxiliando na conservação dos ecossistemas e no desenvolvimento social (Galdino *et al.*, 2023). Segundo Santos, Vendrusculo e Zolin (2023) em revisão sobre o InVEST, afirmaram que diversas pesquisas apontaram que a ferramenta foi bem avaliada, além de ser uma gratuita e de fácil manipulação, permite avaliar consistentemente os diversos benefícios que a natureza pode proporcionar à sociedade. No entanto, um desafio é a validação dos modelos, que é

comprometida pela escassez de dados de acesso livre, o que dificulta a colaboração entre o governo, a comunidade científica e a sociedade civil.

2.4. Projeções de cenários de Mudanças Climáticas

O principal trabalho da literatura científica que corrobora a existência das mudanças climáticas é o conjunto abrangente de pesquisas e dados que são compilados e sintetizados regularmente pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Ele foi criado com o objetivo de promover periodicamente avaliações científicas sobre a mudança do clima aos autores de políticas e, além disso, apresentar também suas implicações, possíveis ameaças futuras, além de opções de mitigação e adaptação (Gurgel, 2023). Essas avaliações são apresentadas no formato de relatórios de avaliação (AR - *Assessment Reports*).

No Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do IPCC, as projeções relacionadas às mudanças climáticas, foram realizadas com a introdução de cinco novos cenários de emissões de gases de efeito estufa, baseados em cenários socioeconômicos, chamados de SSP (*The Shared Socio Economic Pathways*) (Rocha, 2021), e também diferentes períodos de tempo.

Os SSP (*“Shared Socioeconomic Pathways”*, ou Caminhos Socioeconômicos Compartilhados) são cenários desenvolvidos para analisar como diferentes trajetórias de desenvolvimento humano e econômico podem influenciar (ou dificultar) os esforços de mitigação e adaptação às mudanças climáticas ao longo do século XXI (O’Neill *et al.*, 2016). Eles foram criados principalmente para subsidiar os relatórios do IPCC, em especial o AR6, e ajudam a projetar emissões futuras de gases de efeito estufa, uso da terra, poluição, etc. Cada SSP descreve uma narrativa plausível de como o mundo pode se desenvolver até 2100, considerando fatores como: crescimento populacional, ritmo de urbanização, desigualdade, investimento em educação e tecnologia, políticas ambientais (IPCC, 2021).

Neste trabalho, foram utilizados três desses cenários para realizar comparações: SSP1-2.6, SSP2-4.5 e SSP5-8.5. O SSP1- 2.6 (sustentabilidade) baseia-se em uma narrativa em que há um forte compromisso com o desenvolvimento sustentável, ou seja, a redução das emissões de gases do efeito estufa, implementação de políticas climáticas mais rigorosas, investimento em fontes de energia limpas. O SSP2 - 4.5 (caminho intermediário) é um cenário em que o desenvolvimento econômico ocorre ao mesmo tempo que as ações para conter o aquecimento global, ou seja, é como se houvesse a continuação de tendências atuais, sem grandes mudanças no rumo global. O SSP5 - 8.5 (desenvolvimento movido a combustíveis fósseis) é o cenário mais pessimista, em que há um crescimento econômico muito rápido com uso intensivo de combustíveis fósseis, priorizando bem-estar material (Chen *et al.*, 2021).

2.5. Contexto do estudo: Nova Iguaçu

O município de Nova Iguaçu possui uma área total de 520,581km² e é composto por 68 bairros (De Moura, 2023). Seu índice populacional é de 785.867 pessoas, sendo considerado a quarta maior cidade do estado do Rio de Janeiro, e sua densidade demográfica tem 1.509,60hab/km² (IBGE, 2022). Ele faz parte da sub-região conhecida como Baixada Fluminense (Menezes; Mello, 2022).

A ocupação do solo no município de Nova Iguaçu não aconteceu de forma planejada, o que ocasionou problemas que são vistos ainda na atualidade em muitos bairros da cidade, como é o caso das infraestruturas básicas como asfalto e acesso a redes de água e esgoto que não acompanham o ritmo de construção de moradias (Menezes; Mello, 2022). Os mesmos autores afirmam que a desigualdade entre o número de habitantes e a oferta de empregos ao longo de décadas potencializou o problema da pobreza.

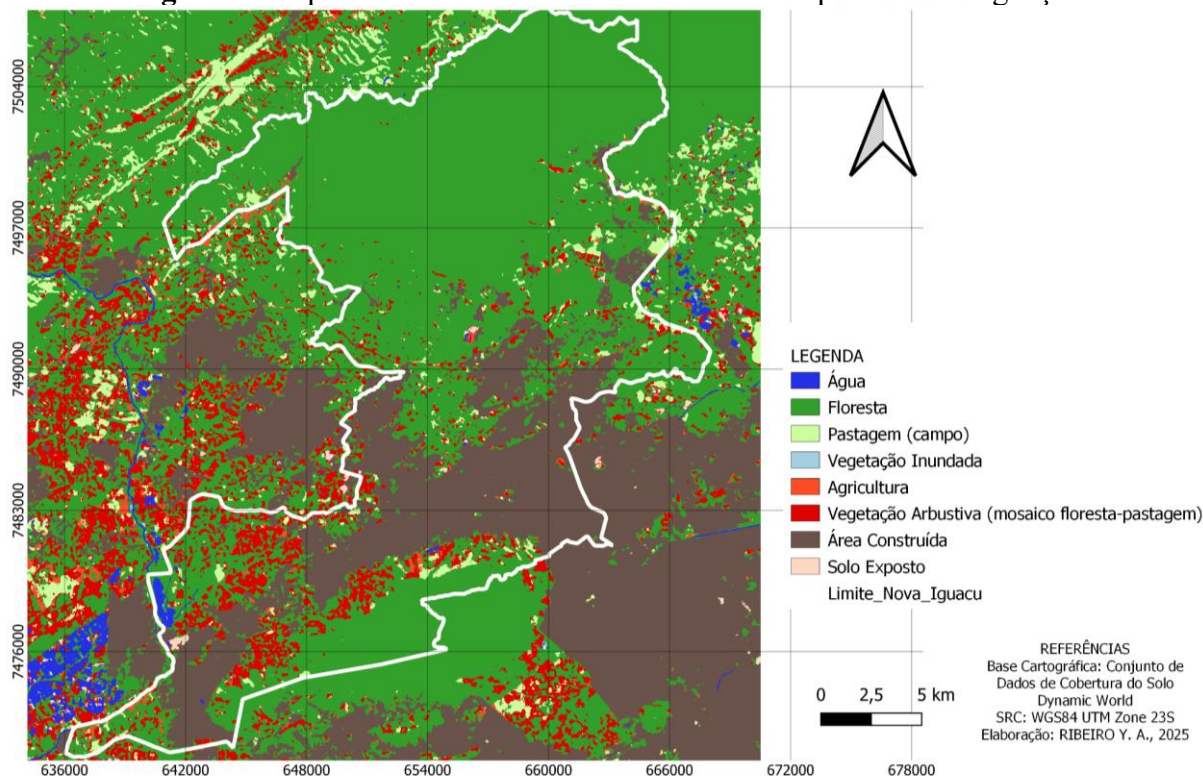
O clima de Nova Iguaçu é tropical, sua temperatura média anual é de 30,2°C, sendo os meses de janeiro os mais quentes (Kottek *et al.*, 2006). Nova Iguaçu possui um dos maiores índices de poluição do ar e mortalidade da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (Moura *et al.*, 2020). A rede hidrográfica do município abastece não só o seu próprio território, mas grande parte da cidade do Rio de Janeiro, ressaltando sua importância (Correa, 2023).

A cidade possui o maior centro comercial e financeiro da Baixada Fluminense, detendo uma indústria com grande relevância econômica, principalmente nos ramos alimentício, siderúrgico e de cosméticos (Ferreira, 2024). Sua região central possui acesso facilitado a importantes vias de acesso como: Rodovia Presidente Dutra (BR-116), Rodovia Carlinhos da Tinguá (RJ-081, popularmente conhecida como Via Light) e Estrada de Ferro Central do Brasil, atualmente administrada pela Supervia (Menezes; Mello, 2022).

As feições geomorfológicas mais presentes em Nova Iguaçu são Escarpas Serranas, Domínio de Morros Elevados, Domínio Montanhosos, Alinhamento Serranos Isolados, Colinas Amplas e Suaves e Colinas Dissecadas e Morros Baixos (INEA, 2015). Já os principais maciços rochosos do município ficam localizados nas porções norte e sul, sendo eles: o Maciço do Tinguá e o Maciço Gericinó Mendanha (Ferreira, 2024).

Em relação ao uso e cobertura do solo, 50,2% do território é de Vegetação Secundária; 23,1% de Áreas Urbanas; 25,3% de Áreas de Pastagens; 0,7% de Áreas Úmidas e 0,7% de outros. Destaca-se que a parte urbana de Nova Iguaçu se encontra majoritariamente em planícies de inundação com crescimento para as áreas elevadas (INEA, 2015; Nova Iguaçu, 2020).

Figura 1. Mapa de uso e cobertura do solo do município de Nova Iguaçu.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

As formações vegetais encontradas são Floresta Ombrófila Densa, Vegetação Secundária, Áreas Agrícolas e Pastagens, Brejos, Florestas de Terras Baixas, Florestas Ombrófilas Densas de Terras Baixas, Florestas Submontanas e Florestas Montanas (Ferreira,

2024). Em relação às formações vegetais, é importante ressaltar que mais de 50% do território é coberto por florestas (INEA, 2015). Além disso, o município possui 17 UCs, sendo 4 (quatro) de proteção integral, 11 de uso sustentável e 2 (duas) Reserva Particular do Patrimônio Natural (Nova Iguaçu, 2020).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a estimativa de perda de solo, foi utilizado o módulo *Sediment Delivery Ratio* do InVEST (InVEST SDR), versão 3.15.1. Este módulo baseia-se na Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE), conforme apresentada na equação 1.

Equação 1.

$$RUSLE = R \times K \times LS \times C \times P$$

Onde:

R é a erosividade das chuvas (unidades: MJ · mm/(h · ha · ano));

K é a erodibilidade do solo (unidades: t · h · ha / (ha · MJ · mm));

LS é um fator gradiente de comprimento de inclinação (sem unidade);

C é um fator de gerenciamento de cobertura (sem unidade); e

P é um fator de prática de apoio (sem unidade).

O modelo quantifica a geração e entrega de sedimentos terrestres que chegam até o curso d'água. Logo, os dados de entrada requeridos relacionam-se com cada variável da equação. Esses dados, em geral, são solicitados pelo *software* em formatos de raster, *shapefile* e tabela, desta forma os resultados são apresentados não só numericamente, mas de forma espacializada. Na Tabela 1, encontra-se a lista dos dados utilizados no InVEST SDR.

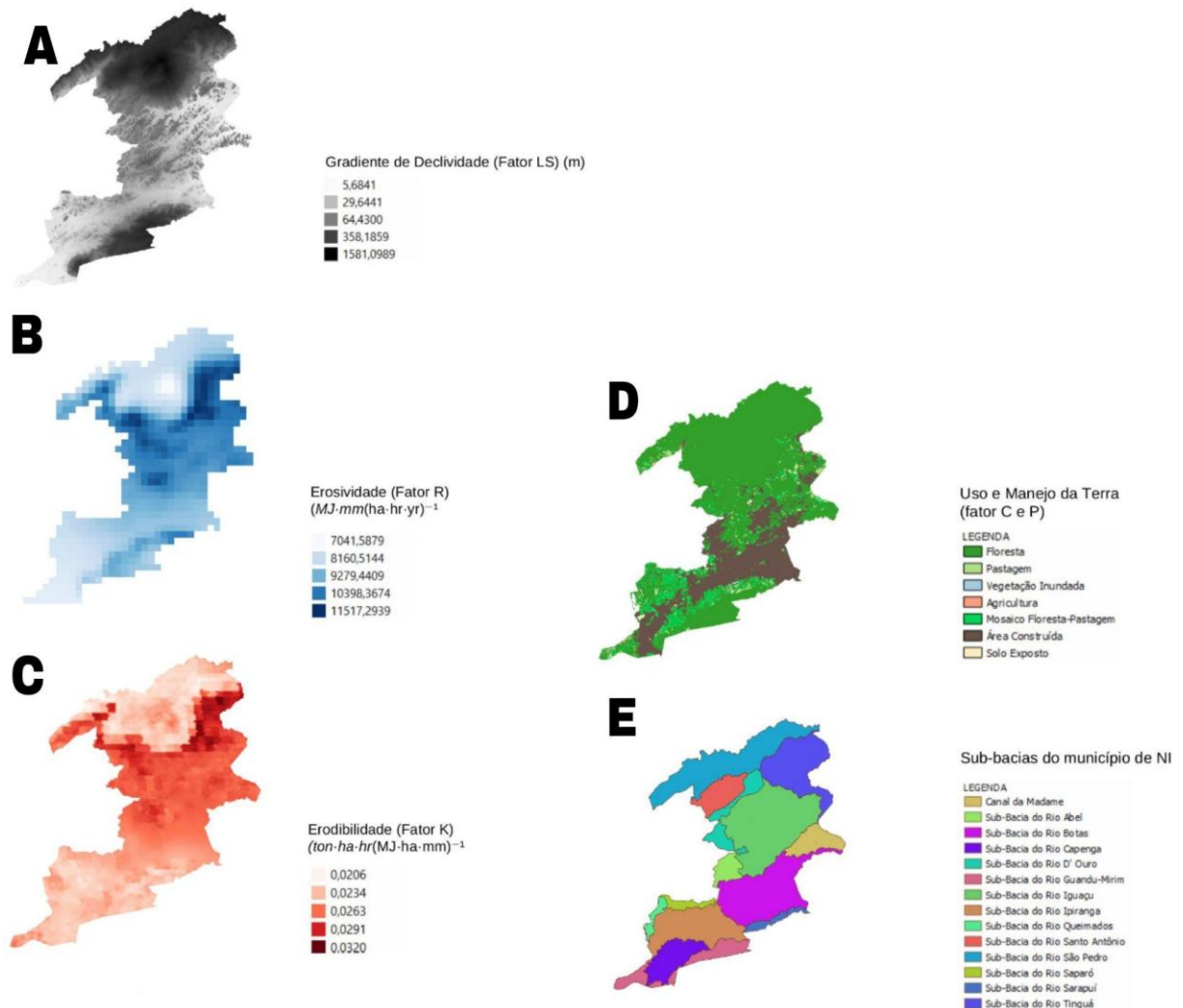
Os dados de saída no formato de raster sempre apresentarão a mesma resolução do Modelo Digital de Elevação do Terreno, ou seja, os pixels terão resolução de 30m. Além disso, é importante ressaltar que o InVEST SDR só é capaz de estimar os valores referentes à erosão laminar, não contabilizando em suas estimativas, as demais formas de erosão (como as ravinas e voçorocas), o que pode gerar resultados subestimados em alguns casos.

Tabela 1. Dados de entrada utilizados para a modelagem com InVEST SDR.

Dado de Entrada	Tipo	Valor	Fonte
Camada de erosividade	Raster: Resolução (873.15x873.15 m)	[7041.59 até 11517.29] MJ.mm/ha.hr	GloREDa (2023)
Camada de Erodibilidade	Raster: Resolução (250x250 m)	[0.0206 até 0.0320] ton.ha.hr / (ha.MJ.mm)	OpenLandap.org
Modelo Digital de Elevação	Raster: Resolução (30x30m)	(2.49723 até 1549.17) metros	INPE (2008)
Fator C da USLE	Raster: Resolução (15mx15m)	Sete classes	Dynamic World Land Cover Dataset
Fator P da USLE	-	1	-
Tabela Biofísica	Tabular	Floresta: 0.001 Agricultura: 0.05 Vegetação Inundada: 0 Mosaico Floresta-Pastagem (vegetação arbustiva): 0.09 Pastagem (campo): 0.09 Solo exposto: 1 Área Construída: 0.124	Silva <i>et al.</i> (2007); Walker (2004)
Threshold flow accumulation	Decimal	500	Vigiak <i>et al.</i> (2012)
K de Borselli	Inteiro	2	Vigiak <i>et al.</i> (2012)
IC0	Decimal	0.5	Vigiak <i>et al.</i> (2012)
SDRmax	Decimal	0.8	Vigiak <i>et al.</i> (2012)
Maximum L Value	Inteiro	122	Vigiak <i>et al.</i> (2012)

Fonte: elaborado pela autora

Figura 2. Arquivos de entrada (rasters e *shapefiles*) utilizados na elaboração da modelagem: 2A Modelo Digital de Elevação, 2B camada de erosividade, 2C camada de erodibilidade, 2D uso e cobertura do solo e 2E sub-bacias hidrográficas do município.



Fonte: elaborado pela autora (2025)

Os valores médios anuais de erosividade e erodibilidade corroboram com os estimados para região por estudos prévios (COSTA *et al.*, 2009; Thompson *et al.*, 2013).

Além disso, também foi utilizado o *shapefile* com os limites das sub-bacias da área de estudo, fornecido pela Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente de Nova Iguaçu e o *shapefile* do limite do município, obtido através das bases de dados do IBGE. Os valores das variáveis “C” e “P” são apresentados na tabela biofísica (Tabela 2) associados a cada classe de uso solo. Os valores de “P” iguais a 1 indicam que nenhuma prática de conservação do solo está sendo aplicada.

Tabela 2: tabela biofísica com os valores dos coeficientes “C” e “P” associados a cada classe de uso do solo.

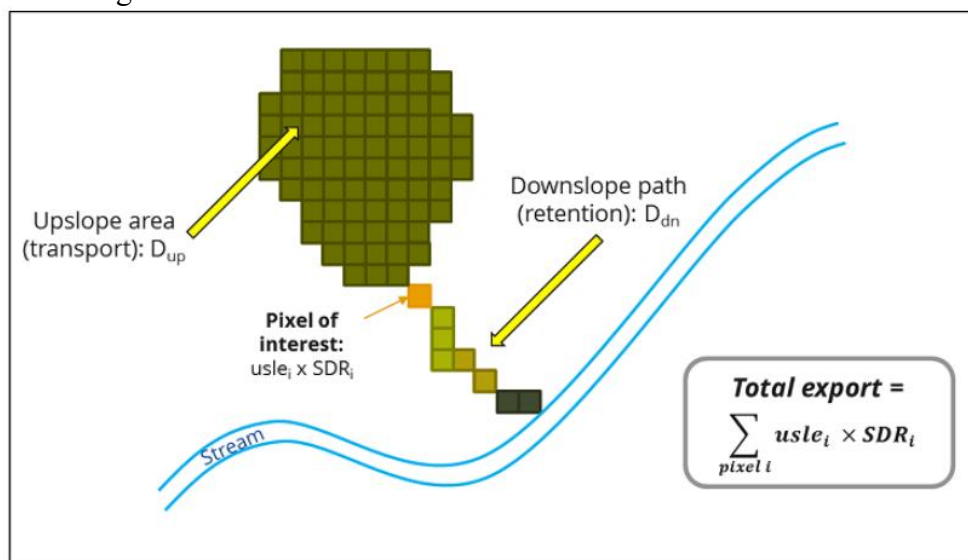
Classe de uso do solo	Código	C	P
Água	0	0,00	1,0
Floresta	1	0,001	1,0
Campo	2	0,09	1,0
Vegetação inundada	3	0,00	1,0
Agricultura	4	0,05	1,0
Vegetação Arbustiva	5	0,09	1,0
Área Construída	6	0,124	1,0
Solo Exposto	7	1,0	1,0

Fonte: adaptado de Walker (2004) e Silva *et al.* (2007)

Os arquivos raster foram refinados, recortados para a área de estudo e reprojetados para o Sistema de Referência de Coordenadas compatível com o modelo (WGS84 UTM Zone 23S), estes ajustes foram feitos por meio do software QGis 3.16.16.

Através da USLE, a perda de solo anual é estimada para cada pixel e a entrega de sedimentos que cada pixel recebe é uma função da área de inclinação ascendente e do caminho de fluxo de inclinação descendente, por isso a necessidade do modelo digital de elevação. O somatório de sedimentos exportados em cada pixel resulta no total de sedimentos exportados na respectiva sub-bacia, como mostrado na figura 3.

Figura 3. Abordagem conceitual utilizada no modelo InVEST SDR.



Fonte: InVEST User's Guide (2024)

3.1 Simulação de cenários

Além da estimativa de perda de solo para as sub-bacias, foi proposta a simulação de um cenário onde há uma mudança no uso do solo em uma das sub-bacias do município. Sendo assim, o objetivo desta proposta é verificar se esta mudança irá proporcionar uma redução na perda de solo. Desta forma, o cenário proposto consiste no aumento das áreas de florestas e, para isso, algumas regiões da sub-bacia do Rio Botas foram selecionadas para serem

modificadas, tornando-se áreas de floresta. Nas regiões modificadas, foram feitas as seguintes reclassificações: os pixels referentes às classes de pastagem, vegetação arbustiva e agricultura, dentro das áreas selecionadas, foram todos reclassificados para a classe floresta.

Para isso, foi realizada uma modificação no raster de uso e cobertura do solo utilizado. Através do *software* Qgis, foram desenhados polígonos nas regiões onde se pretendia mudar a classe de uso do solo e, posteriormente, foi feito o recorte do raster pela camada máscara, utilizando como camada máscara, a camada vetorial criada dos polígonos. Com este novo raster recortado, foi utilizada a ferramenta “calculadora raster” para reclassificar os pixels e, por fim, este novo arquivo de referência foi utilizado para reclassificar apenas as partes modificadas do arquivo original, também utilizando a função calculadora. Com o novo mapa de uso e cobertura do solo, apenas com as regiões de interesse modificadas para a classe floresta, o módulo SDR foi rodado novamente no InVEST utilizando o novo arquivo.

Também foram realizadas simulações de cenários baseados nos cenários do AR6 do IPCC. Para isso, foram considerados os cenários SSP1-2.6 (cenário otimista), SSP2-4.5 (cenário intermediário) e SSP5-8.5 (cenário pessimista). Sendo assim, para a simulação foram utilizados dados de erosividade das chuvas, ajustados para as projeções de mudança climática para 2040-2059 para os cenários SSP, baseando-se nos dados do Banco Mundial. Esses novos dados de erosividade (arquivos raster) foram substituídos nas entradas do modelo InVEST SDR, e ele foi rodado novamente para cada cenário.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos arquivos de saída do modelo, utilizou-se o *shapefile* contendo a tabela de atributos com os valores de perda de solo (USLE) em ton/ha/ano de cada sub-bacia hidrográfica para elaborar a tabela 3, que apresenta os dados quantitativos de área e a porcentagem de perda de solo (por erosão laminar) para cada sub-bacia analisada. Ressalta-se que não se trata da exportação total de sedimentos, mas da quantidade total de solo que é erodido, incluindo o que não necessariamente chegará a um curso d’água, observa-se que:

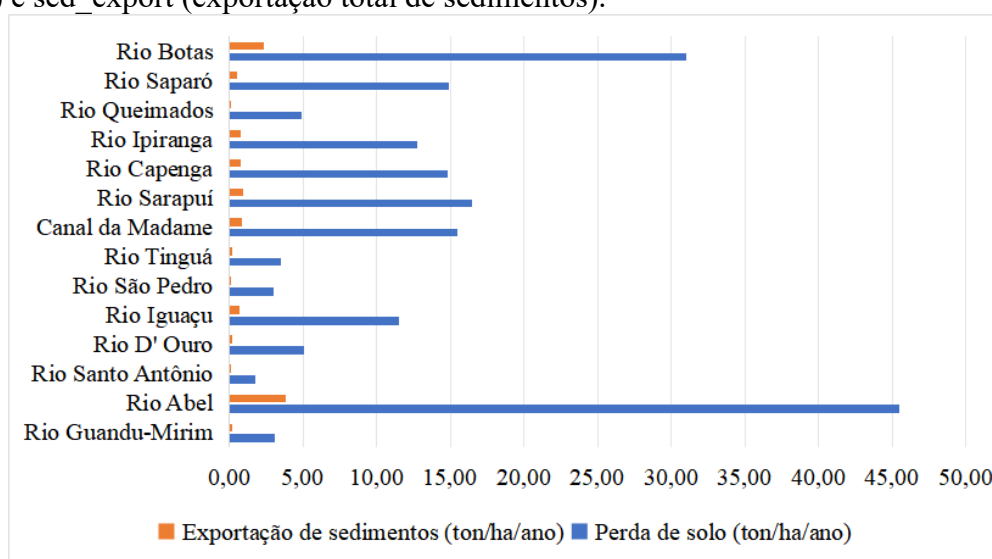
- A **Sub-Bacia do Rio Abel**, embora represente apenas **2,26%** da área total, é responsável por **24,79% da perda de solo total**, evidenciando um processo intenso de degradação ambiental,
- A **Sub-Bacia do Rio Botas**, com **14,88% da área**, contribui com **16,92% de perda de solo**, configurando-se como outra área crítica,
- Sub-bacias como a do **Rio Santo Antônio** (4,38%) e do **Rio São Pedro** (14,72%) apresentam baixos percentuais de perda de solo (**0,93%** e **1,62%**, respectivamente), indicando maior grau de conservação e menor suscetibilidade à erosão,
- O **Canal da Madame**, mesmo com apenas **3,87% da área**, apresenta perda de solo significativa (**8,43%**), por conta da influência antrópica na região.

Tabela 3. Porcentagem da perda de solo (USLE) que cada sub-bacia contribui em relação à perda de solo da área total do município.

Sub-bacia	Área (ha)	Área (%)	Perda de solo (%)
Sub-Bacia do Rio Guandu-Mirim	2562,96	4,92	1,69
Sub-Bacia do Rio Abel	1180,79	2,26	24,79
Sub-Bacia do Rio Santo Antônio	2284,86	4,38	0,93
Sub-Bacia do Rio D' Ouro	2196,46	4,21	2,73
Sub-Bacia do Rio Iguaçu	10540,01	20,22	6,27
Sub-Bacia do Rio São Pedro	7671,97	14,72	1,62
Sub-Bacia do Rio Tinguá	5681,59	10,90	1,92
Canal da Madame	2017,27	3,87	8,43
Sub-Bacia do Rio Sarapuí	764,65	1,47	8,97
Sub-Bacia do Rio Capenga	2745,11	5,27	8,06
Sub-Bacia do Rio Ipiranga	5445,97	10,45	6,94
Sub-Bacia do Rio Queimados	570,04	1,09	2,64
Sub-Bacia do Rio Saparó	714,67	1,37	8,10
Sub-Bacia do Rio Botas	7760,51	14,88	16,92

Fonte: elaborado pela autora (2025).

Figura 4. Valores absolutos em ton/ha/ano obtidos a partir dos dados de saída: USLE (perda de solo) e sed_export (exportação total de sedimentos).



Fonte: elaborado pela autora (2025)

Nos arquivos dos resultados, os dados foram expressos em toneladas por hectare por ano (t/ha/ano) e espacializados, como na Figura 5 (elaborada a partir dos dados de USLE),

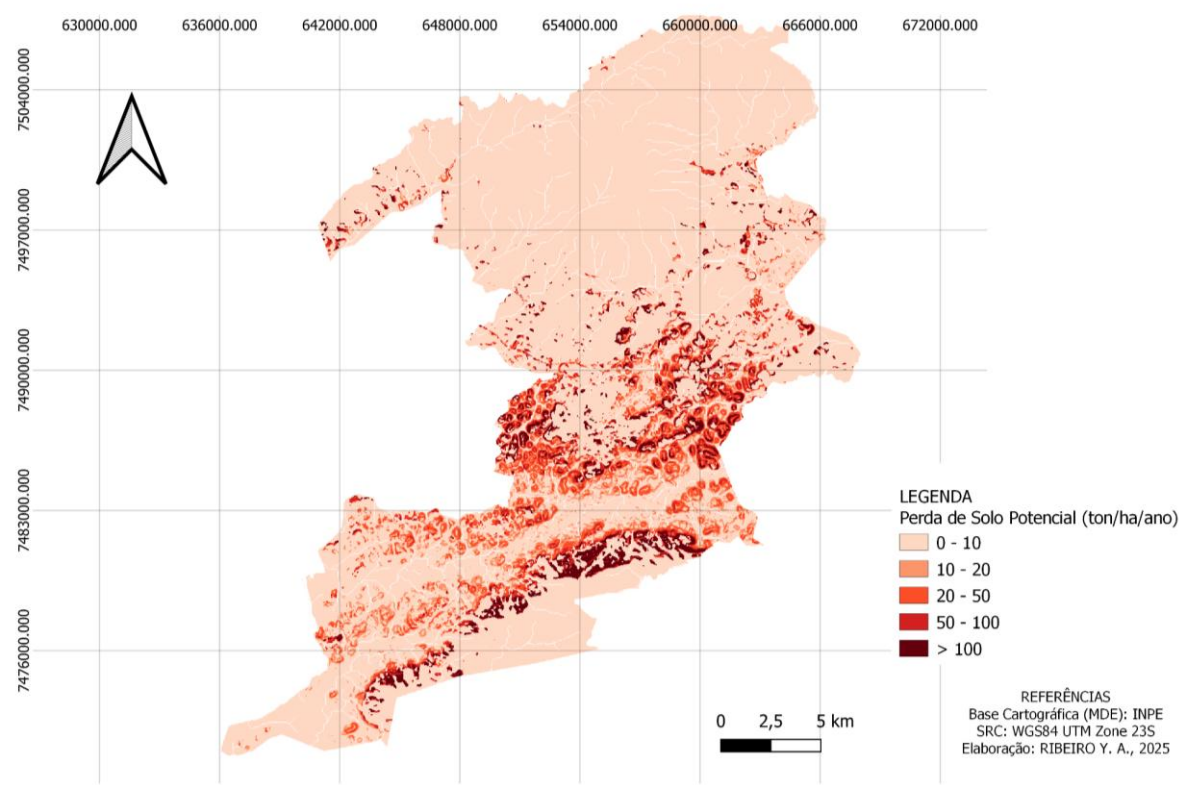
possibilitando a visualização da distribuição da erosão laminar no território municipal. As regiões com maior perda de solo concentram-se principalmente na porção sul e sudeste do município, destacando-se áreas com valores superiores a 100 t/ha/ano, representadas em tons mais escuros no mapa. Essas áreas estão associadas, em grande parte, à presença de relevo acidentado e ocupação urbana desordenada em regiões com solo exposto.

Tabela 4. Grau de erosão por quantidade de perda de solo.

Perda de solo (ton/ha/ano)	Grau de erosão
0 - 10	1 - Muito baixo
10 - 20	2 - Baixo
20 - 50	3 - Médio
20 - 100	4 - Alto
> 100	5 - Muito Alto

Fonte: Pereira (2021), adaptado de Pereira (2014).

Figura 5. Mapa de estimativa de perda de solo por erosão laminar.



Fonte: elaborado pela autora (2025)

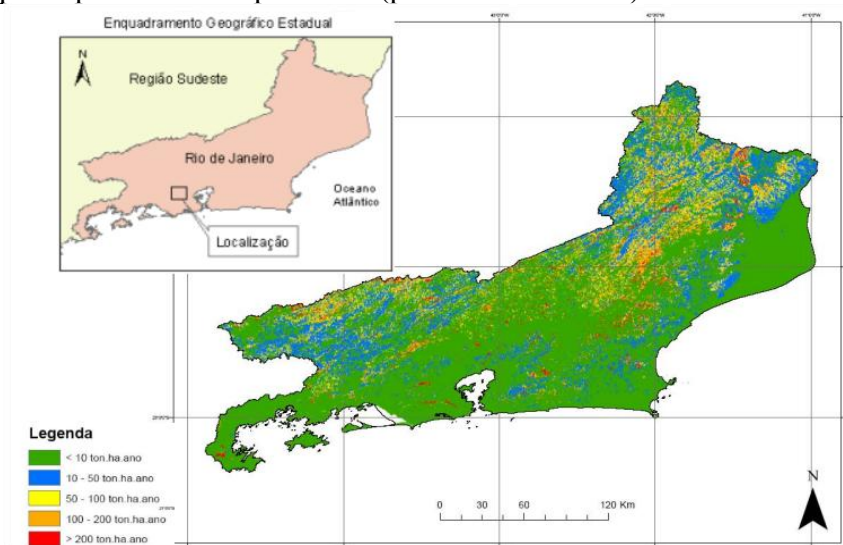
Segundo o trabalho de Costa *et al.* (2005), onde foi realizado a estimativa de perda de solo (usle) para o estado do Rio de Janeiro, as menores perdas (inferiores à 10 ton/ha/ano) foram observadas em 21% das microbacias hidrográficas (MBH) do estado, já valores entre 10 e 20 ton/ha/ano foram observados em 16% das microbacias hidrográficas; a maior parte das microbacias apresentam perdas de solo entre 20 e 50 ton/ha/ano (43%); já os valores mais altos (entre 50 e 100 ton/ha/ano) são observados em 19% das MBH; por fim, menos de 1% apresenta perda entre 100 e 131 ton/ha/ano.

Costa *et al.* (2005) também afirmam que 64% das terras do estado do Rio de Janeiro apresentam perdas muito baixas, com valores inferiores a 10 ton/ha/ano. E nessas áreas, a baixa perda é proporcionada pela atenuação da cobertura vegetal de remanescentes florestais da mata

atlântica. O que também acontece em Nova Iguaçu, onde as áreas com presença de remanescentes florestais também possuem valores de perda de solo menor que 10 ton/ha/ano e, como Nova Iguaçu está inserida em uma área predominantemente coberta por áreas verdes, isto ocorre na maior parte de seu território, como mostrado na Figura 5.

No mapa da Figura 6, apresenta-se a perda de solo em ton/ha/ano para o Estado do Rio de Janeiro de forma espacializada, no canto superior esquerdo está a indicação de onde se localiza o município de Nova Iguaçu. O município de Nova Iguaçu, encontra-se em uma região em que predomina a cor verde, que representa perdas muito baixas (menor que 10 ton/ha/ano) de acordo com a classificação da Tabela 4.

Figura 6. Mapa de perda de solo potencial (por erosão laminar) do estado do Rio de Janeiro.



Adaptado de Costa *et al.* (2005)

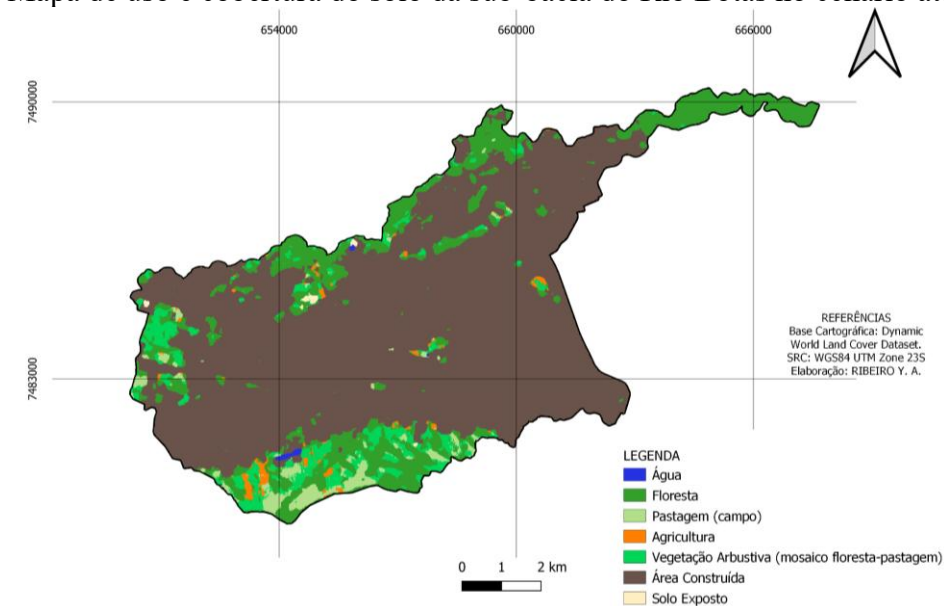
Segundo as análises de Fidalgo e Thompson (2013), também estimada a perda de solo com InVEST SDR para a Bacia Hidrográfica do Rio Guapi-Macacu – RJ, em seus resultados obtiveram que nas áreas onde a perda de solo é considerada média, alta e muito alta, a classe de uso de solo predominante é a pastagem; o mesmo se observa na área de estudo em questão, onde as manchas de maior perda de solo são observadas onde há mais pastagens e mosaico floresta-pastagem (vegetação arbustiva).

A utilização dos resultados e estimativas obtidos a partir do InVEST SDR deve ser cautelosa. Existem limitações que estão atreladas ao mesmo, dentre elas, a principal é a que a estimativa de perda de solo relaciona-se principalmente à erosão laminar, o módulo SDR não é capaz de estimar a perda de sedimentos advinda de outros tipos de erosão, como é o caso das ravinas e voçorocas (Saballo, 2023).

4.1 Simulação de cenários

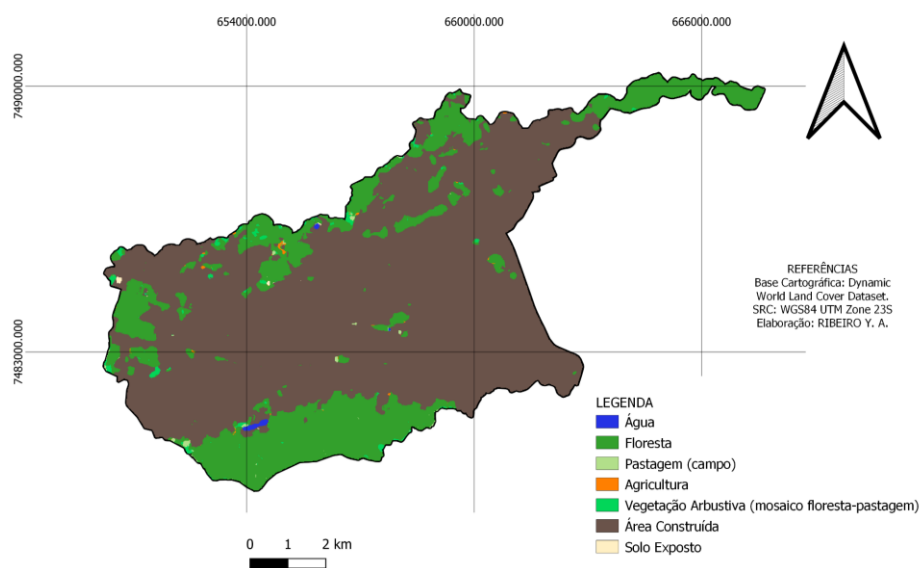
Após realizar a modelagem com os dados de uso e cobertura do solo alterados para o novo cenário (Figura 8), obteve-se que a contribuição da sub-bacia do Rio Botas para a perda de solo no município como um todo, que antes era de 16,92%, baixou para 12,35%. O que aparenta ser relativamente pouco, no entanto, esta sub-bacia ocupa somente 14,88% da área total de Nova Iguaçu e, com a mudança no uso do solo, representou uma redução significativa de 5,22% do total e de 30,85% da perda de solo internamente na sub-bacia, como observado na Tabela 5.

Figura 7. Mapa de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Rio Botas no cenário atual.



Fonte: elaborado pela autora (2025)

Figura 8. Mapa de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Rio Botas no cenário proposto, onde há um aumento da cobertura florestal, e redução das áreas de pastagem, agricultura e vegetação arbustiva.



Fonte: elaborado pela autora (2025)

Tabela 5. Perda potencial de solo em ton/ha/ano em ambos os cenários, relativa à sub-bacia do Rio Botas e ao município inteiro.

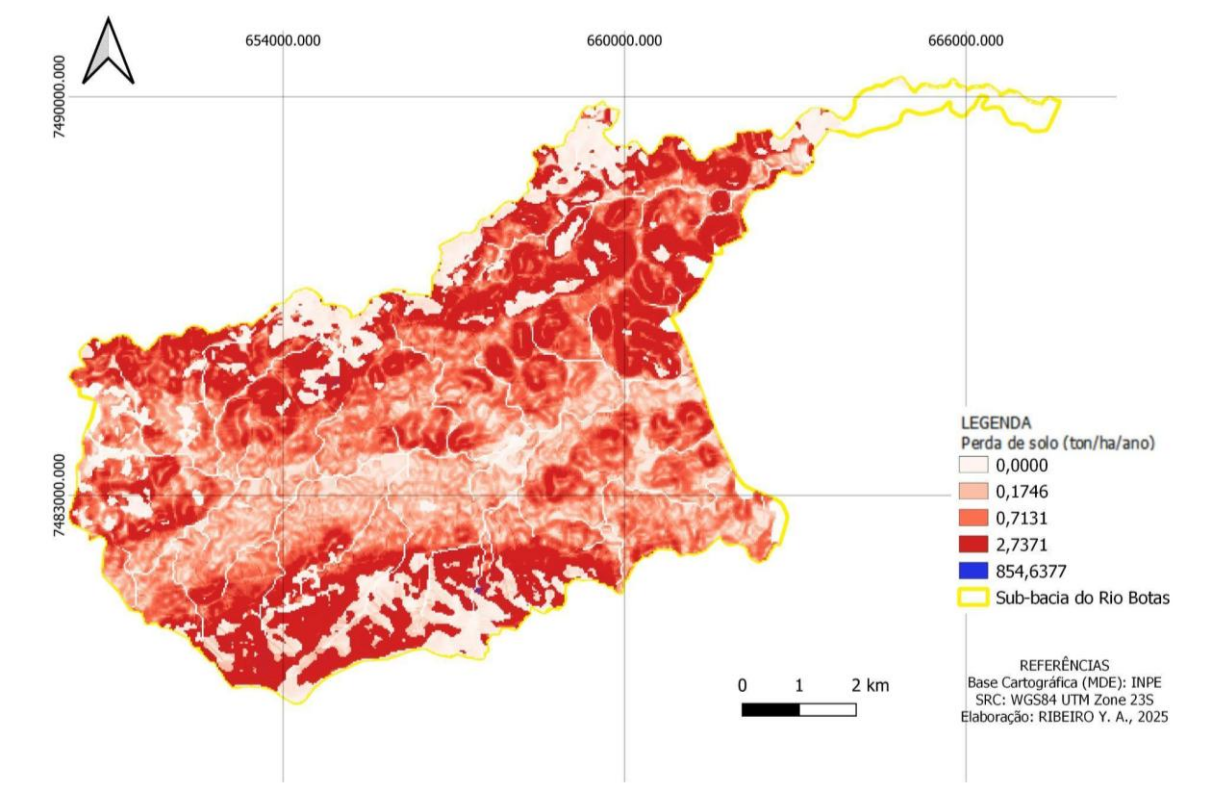
	Sub-bacia do Rio Botas	Área total do município
Perda de solo no cenário atual (ton/ha/ano)	31,05	183,48
Perda de solo no cenário com aumento da cobertura florestal (ton/ha/ano)	21,47	173,91

Fonte: elaborado pela autora (2025)

Como observado na Figura 10, em comparação às Figuras 7 e 8, é notório que as áreas onde há maior perda de solo estão associadas às áreas não cobertas por vegetação densa (florestas), evidenciando que quanto maior a cobertura vegetal, menor é a propensão deste solo à ocorrência de erosão (Pruski, 2009).

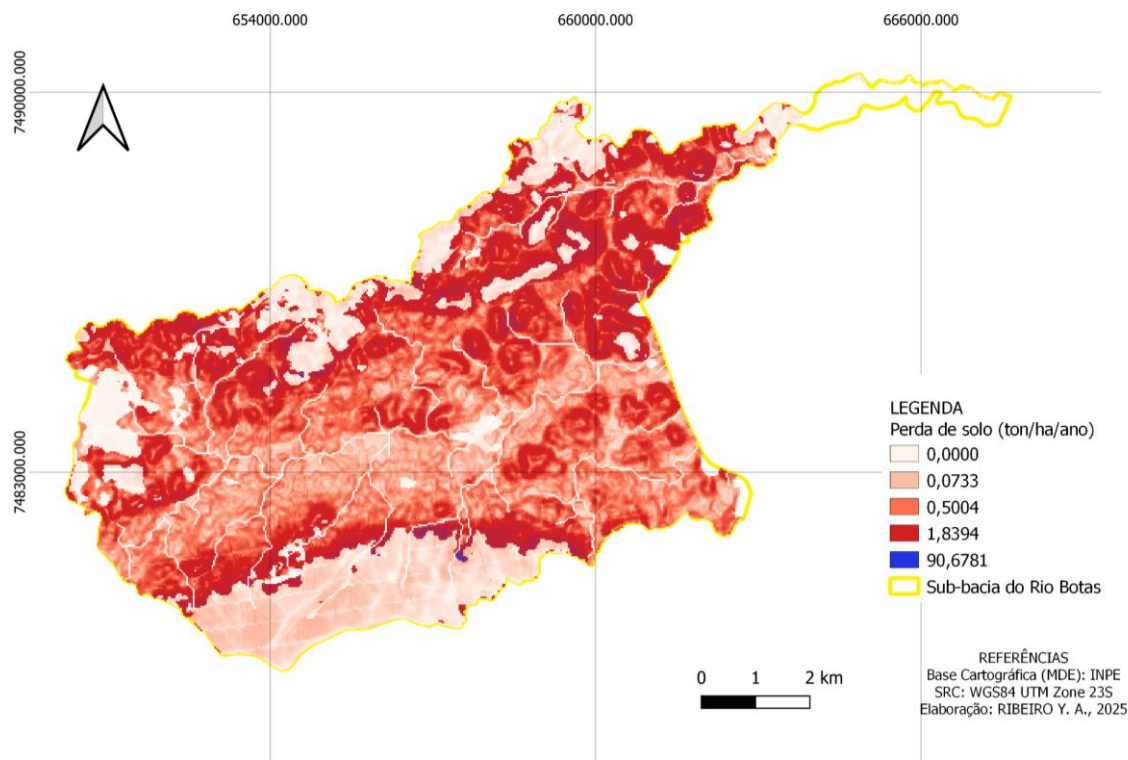
As áreas de vegetação arbustiva, pastagens e agricultura podem ser convertidas em áreas de florestas com iniciativas ações de restauração florestal. No entanto, as áreas em que já há ocupação urbana são inviáveis de se tornarem vegetadas novamente, soluções alternativas como a arborização urbana e a construção de parques inseridos nas áreas construídas, poderiam contribuir para a redução da erosão total da sub-bacia.

Figura 9. Mapa de perda de solo da sub-bacia do Rio Botas no cenário atual.



Fonte: elaborado pela autora (2025)

Figura 10. Mapa de perda de solo da sub-bacia do Rio Botas hipotético proposto.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

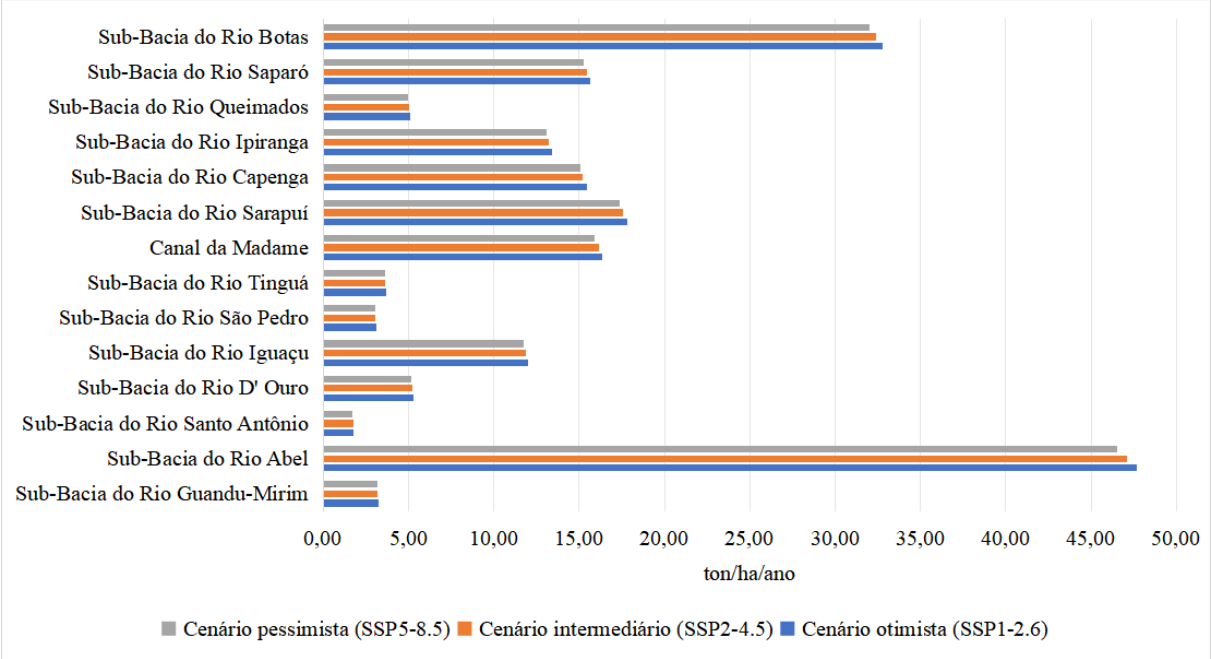
No contexto do planejamento territorial, é fundamental entender que alterações no uso do solo podem gerar diversos benefícios para os serviços ecossistêmicos. Essas mudanças podem ser alcançadas por meio da implementação de técnicas de restauração florestal e da aplicação de práticas voltadas à conservação do solo (Rodrigues *et al.*, 2021). E, neste caso, é essencial que haja um controle na contenção do avanço urbano sobre essas áreas não construídas.

Ressalta-se a importância dos riscos associados ao aumento da erosão na região, visto que a sub-bacia do Rio Botas é a que mais sofre com alagamentos no município, segundo a Defesa Civil de Nova Iguaçu (2024), afetando a população que reside nas áreas construídas. Desta forma, trata-se de uma área que necessita de atenção especial e a restauração da vegetação na região, não só traria benefícios em relação a redução da perda de solo como mostrado, mas também contribuiria para a prevenção da ocorrência desses episódios de alagamentos.

Os resultados da modelagem, de acordo com a Figura 11, não demonstraram diferença relevante entre os impactos das mudanças climáticas, nos cenários SSP1-2.6, SSP2-4.5 e SSP5-8.5 para a perda de solo. Pode-se observar que, em algumas sub-bacias, ocorreu uma maior sensibilidade às mudanças climáticas, apresentando uma diferença ligeiramente perceptível entre os 3 cenários.

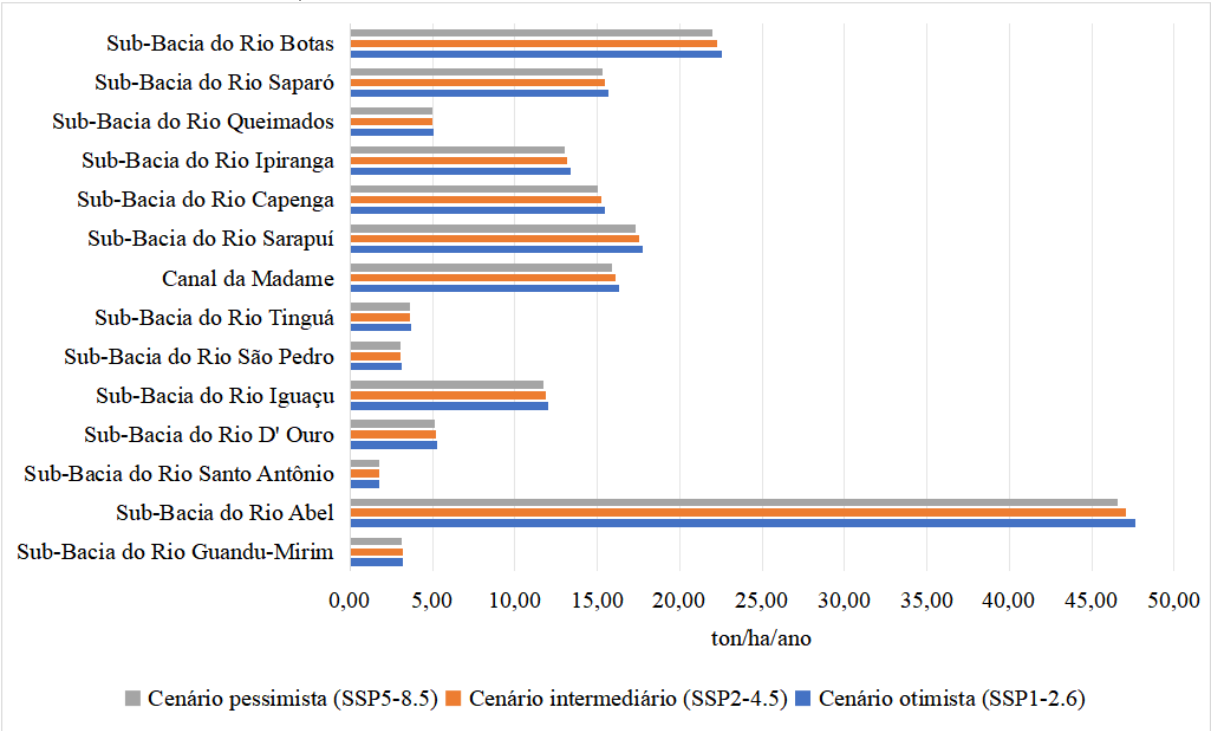
Já na Figura 12, observou-se os resultados da mesma modelagem para os cenários SSP1-2.6, SSP2-4.5 e SSP5-8.5, porém considerando também a mudança no uso do solo que foi proposta para a sub-bacia do Rio Botas, com aumento da classe floresta. O resultado apresentou uma redução na perda de solo na sub-bacia do Rio Botas, quando comparado com os cenários das mudanças climáticas sem modificação do uso do solo.

Figura 11. Total de perda de solo por sub-bacia, a partir da mudança do fator R da USLE, considerando os cenários de mudanças climáticas, sem alteração no uso e cobertura do solo.



Fonte: Própria autora (2025)

Figura 12. Total de perda de solo por sub-bacia, a partir da mudança do fator R da USLE, considerando os cenários de mudanças climáticas (considerando a mudança no uso do solo na sub-bacia do Rio Botas).



Fonte: Própria autora (2025)

A mudança no uso e cobertura do solo, considerando o método da RUSLE espacializada com o InVEST, foi mais relevante do que a mudança simulada no fator R (Erosividade) na

análise da perda de solo. Assim, considera-se que os resultados indicam um alto potencial das ações de restauração florestal na mitigação das mudanças climáticas ou dos processos erosivos.

5. CONCLUSÃO

Os resultados da modelagem da perda de solo na escala do município, para Nova Iguaçu (RJ), com a simulação de cenários na ferramenta InVEST SDR, permitem concluir que:

- a maior parte de seu território apresenta grau de erosão baixo ou muito baixo;
- as sub-bacias prioritárias para ações de contenção de erosão identificadas foram a sub-bacia do Rio Abel e a sub-bacia do Rio Botas;
- o aumento da cobertura florestal mostrou-se mais relevante na redução da perda de solo quando comparado ao impacto das mudanças climáticas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVALÁ, R. C. S.; BARBIERI, A. Desastres Naturais. In: NOBRE, C. A.; MARENGO J. A. (Org.). **Mudanças Climáticas em Rede Um olhar interdisciplinar**. SP: INCT, 2017. p203-230.
- ALVES, F. X. X.; SILVA, C. F., PINTO, L. A. S. R., SALES, L. O., COSTA, A. G., PEREIRA, M. G. Atributos edáficos como indicadores de qualidade em áreas com processos erosivos na região sudeste do Brasil. In: LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 52. **Anais [...]**. Ribeirão Preto, SP: SBEA, 2023
- ANDRADE, Daniel Caixeta. **Modelagem e valoração de serviços ecossistêmicos: uma contribuição da economia ecológica**. 2010. Tese (Doutorado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- ANDRADE, Daniel Caixeta; ROMEIRO, Ademar R. Valoração de serviços ecossistêmicos: por que e como avançar. **Sustentabilidade em Debate**, v. 4, n. 1, p. 43-58, 2013.
- AMARAL R, RIBEIRO RR. Inundação e Enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO J; AMARAL R. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. 2 ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2012. p.39-52.
- AMORIM, Ricardo SS et al. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 1046-1049, 2010.
- ANGELINI, Ronaldo. **Ecossistemas e modelagem ecológica. Perspectivas da Limnologia no Brasil**, v. 1, p. 1-19, 1999.
- ARTAXO, Paulo. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 34, n. 100, p. 53–66, set./dez. 2020.
- AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO. **Ecossistemas e bem-estar humano: relatório de síntese**. Washington, DC: Island Press, 2005.
- AVANZI, J. C. et al. Distribuição espacial do risco de erosão hídrica em uma bacia hidrográfica com eucalipto e Mata Atlântica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 5, p. 427–434, set./out. 2013.
- BARBOSA, Amanda Fernandes *et al.* Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 38, n. 1, 2015.
- BARRERA, A. A. *et al.* A evolução do direito resiliente no Brasil. In: Congresso Estadual de Prevenção dos Efeitos da Estiagem Norte e Noroeste. Campo dos Goytacazes - RJ, 2018. **Anais [...]**. Campos dos Goytacazes: UENF, 2018
- Bertoni, J., & Neto, F. L. (2005). **Conservação do solo**. (5ª ed.). Ed. Ícone. Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico ; Rede e-Tec Brasil, 2017.

BLAIKIE, P. *et al.* **Vulnerabilidade: O ambiente social, político e econômico dos desastres.** Lima (Peru): La Red, 1996.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. **Panorama dos desastres no Brasil: 2013 a 2023.** Brasília: MIDR/SEDEC, 2024.

CALADO, B.; VALVERDE, M. C.; VASCONCELOS, V. V. Os desastres no Sudeste e Nordeste brasileiro e a sua relação com a exclusão e temperatura. *In: II END – Encontro Nacional de Desastres. II, 2020, Rio de Janeiro: ABR Hidro, 2020. Anais [...].* Rio de Janeiro, 2020

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E.D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.

CHEN, Shangfeng et al. Desempenho dos modelos AR6 do IPCC na simulação da relação entre a alta subtropical ocidental do Pacífico Norte e a alta tropical do norte da primavera SST do Atlântico. **Jornal Internacional de Climatologia**, v. 41, n. 4, 2021.

Chen, D., Rojas, M., Samset, BH, Cobb, K., Diongue Niang, A., Edwards, P., Emori, S., Faria, SH, Hawkins, E., Esperança, P., Huybrechts, P., Meinshausen, M., Mustafá, SK, Plattner, GK, & Tréguier, AM (2021). **Enquadramento, Contexto e Métodos.** *In: IPCC 2021: Mudanças Climáticas 2021: A Base das Ciências Físicas. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.* Eds. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, SL., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., e outros, pp. 147-286 Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NY, EUA: Cambridge University Press.

COITINHO, Denis. Refletindo sobre a injustiça ambiental. Griot : **Revista de Filosofia**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 168–181, 2024.

COLLS, A.; ASH, N.; IKKALA, N. **Ecosystem-based Adaptation: a natural response to climate change.** Gland, Switzerland: IUCN, 2009.

CONVENÇÃO SOBRE DIVERSIDADE BIOLÓGICA (CDB). Conectando biodiversidade e mitigação e adaptação às mudanças climáticas: **relatório do segundo Grupo Especializado Técnico Ad Hoc sobre biodiversidade e mudanças climáticas.** Série Técnica da CDB, n. 41. Montreal: Secretaria da Convenção sobre Diversidade Biológica, 2009

CORRÊA, Elizabethe Cristina Ramos. **Mapeamento de uso e ocupação do solo e a percepção ambiental dos moradores no Tinguá, Nova Iguaçu (NI), Rio de Janeiro (RJ).** 2023. 52 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2023.

COSTA, Mariana Oliveira da. **Percepção de riscos a inundações no rio Botas: uma análise a partir da perspectiva dos moradores de Comendador Soares e Ouro Verde, em Nova Iguaçu (RJ).** 2020. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Agronomia/Instituto Multidisciplinar, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/Nova Iguaçu, RJ, 2020.

COSTA, T. C. C.; FIDALGO, E. C. C.; NAIME, U. J.; GUIMARÃES, 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, Brasil. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 4, n. 1, p. 93-116, 2009.

COSTA, T. C. e C. da; LUMBRERAS, J. F.; ZARONI, M. J.; NAIME, U. J.; GUIMARÃES, S. P.; UZEDA, M. C. Estimativas de perda de solo para microbacias hidrográficas no Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, n. 78, 2005.

DEFESA CIVIL DE NOVA IGUAÇU. Plano de Contingências Nova Iguaçu – Verão 2024/2025: mapeamento de risco de alagamentos/inundações (2017–2022). Nova Iguaçu, 2024.

DE OLIVEIRA FERREIRA, Rayssa Evangelista Matos. **Áreas verdes em Nova Iguaçu (RJ): a contribuição da vegetação aos espaços urbanos centrais da cidade**. Tese de Doutorado. UERJ, 2024.

DELGADO, Isabel Cristina de Mattos Silva; CATELANI, Celso de Souza; BATISTA, Getulio Batista. O avanço da ocupação nas áreas de risco em Campos do Jordão: uma comparação entre 1986 e 2003. 2006. *In*: XII Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica. **Anais [...]** Cartagena de Índias, Colombia, 2006.

DULLIUS, Alexandre; DA SILVA, Maclovio Corrêa. Uso da ferramenta de adaptação baseada em ecossistemas para mudanças climáticas: revisão da literatura. *In*: V Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade. **Anais [...]** São Paulo – Brasil, 2016.

FERNANDES, Rafael Pires et al. Geração de escoamento superficial em uma microbacia com cobertura de cana-de-açúcar e floresta ripária. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, p. 178-190, 2013.

FIDALGO, ECC; THOMPSON, D. Estimativa da perda de solos por meio da equação universal de perdas de solos (USLE) com uso do invest para a bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu. *In*: X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais [...]** Bento Gonçalves - RS, 2013.

GALDINO, S., R. R. SILVA, C. A. ZOLIN, S. G. TOSTO, k. HYSLOP, C. F. QUARTAROLI, L. C. PEREIRA, M. A. F. GOMES, e CNPM; RENAN RICARDO SILVA SERGIO GALDINO. **InVEST - Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs**. 2023.

GARCIA, Junior Ruiz; ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Valoração e cobrança pelo uso da água: uma abordagem econômico-ecológica. **Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD**, v. 34, n. 125, p. 101-121, 2013.

GIZ. **Biodiversidade e Mudanças Climáticas na Mata Atlântica**. Descrição sucinta do projeto. 2020b.

GONÇALVES, Carmen Diego. “Desastres naturais”. Algumas considerações: vulnerabilidade, risco e resiliência. **Territorium**, n. 19, p. 5-14, 2012.

GURGEL, Anne Larisse Alves Rebouças. **Reserva biológica do Atol das Rocas (Atlântico Sul) sob pressões de impactos humanos: subsídios para a conservação**. 2023. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2023.

HAMEL, Perrine *et al.* Mapeando os benefícios da natureza nas cidades com o software InVEST. **Npj Urban Sustainability**, v. 1, n. 1, p. 25, 2021.

HENRIQUE DE MOURA, Paulo *et al.* Fatores ambientais associados a hospitalizações e óbitos por doenças cerebrovasculares no município de Nova Iguaçu. Hygeia: **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 19, 2023.

IBGE –2022. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Nova Iguaçu.

Instituto Estadual do Ambiente. Uso e Cobertura do Solo - RJ 2015. Rio de Janeiro: INEA, 2015.

ESTRATÉGIA INTERNACIONAL PARA REDUÇÃO DE DESASTRES - UN-ISDR. Terminologia sobre redução de risco de desastres. [S.l.], 2009.

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Mudança Climática 2021: **A Base da Ciência Física**. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. 2021.

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Mudança Climática 2022: **Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade**. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. 2022.

IPCC. **Relatório de Síntese do Sexto Relatório de Avaliação (AR6)**. Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, 2023.

KOTTEK, Markus *et al.* **Mapa-múndi da classificação climática de Köppen-Geiger atualizado**. 2006.

LATTARI, Paulo Georges Zein. **Modelagem de serviços ecossistêmicos hídricos em uma microbacia do alto Corumbataí**. 2018. 94 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

LAVELL, A. Gestão de riscos ambientais urbanos. Faculdade Latino-Americana de Ciências Sociais e A Rede de Estudos Sociais em Prevenção de Desastres na América Latina.-**LA RED**, 1999. p. 1-13.

LEPSCH, Igo F. Formação e conservação dos solos. **Oficina de textos**, 2016.

LOCATELL, Marcela Minatel; SANCHES, Patrícia Mara; POLIZEL, Jefferson Lordello; SILVA FILHO, Demóstenes Ferreira da. Planejamento de espaços verdes para minimização do escoamento superficial das águas pluviais. **Revista labverde**, São Paulo, Brasil, v. 8, n. 2, p. 75–89, 2017.

Marco da Silva, A., Casatti, L., Alvares, C.A., Leite, A.M., Martinelli, L.A., Durrant, S.F. Risco de perda de solo e qualidade de habitat em riachos de uma bacia hidrográfica de mesoescala.. **Sciencias Agricolas** (Piracicaba, Brazil) 64, 2007.

MENEZES, André da Silva; MELLO, José André Villas Boas. Expansão imobiliária e adensamento populacional na periferia do Estado do Rio de Janeiro/Brasil: uma análise da cidade de Nova Iguaçu. **Geograficando**, v. 18, n. 2, 2022.

MONTEIRO, Raimundo Nonato Farias; ANDRADE, Fernando César Moura de; ROCHA, Renan Vieira; ESTÁCIO, Alyson Brayner Sousa. Projeções de demanda hídrica para culturas agrícolas na bacia do Banabuiú sob o impacto das mudanças climáticas. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 17., 2024. **Anais [...]**. Fortaleza: ABRHidro, 2024.

MOURA, Paulo Henrique; SANTOS, David William Lima; MORENO, Adalgiza Mafra; SOBREIRA, Paula Guidone Pereira; SILVA, Fabrício Polifke da; MAIA, Luiz Francisco Pires G. Análise da qualidade do ar e fatores meteorológicos na cidade de Nova Iguaçu (Rio de Janeiro - Brasil) entre os anos de 2000 a 2016. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, [S. l.], v. 8, n. 1, 2020.

MYERS, Norman; MITTERMEIER, Russell A.; MITTERMEIER, Cristina G.; DA FONSECA, Gustavo A. B.; KENT, Jennifer. Pontos críticos de biodiversidade para prioridades de conservação. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 24 fev. 2000.

NOVA IGUAÇU (RJ). **Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Nova Iguaçu**. Conselho Municipal de Meio Ambiente. Nova Iguaçu, 2020

NOVA IGUAÇU. Secretaria Municipal de Defesa Civil. **Plano de Emergência da Cidade de Nova Iguaçu 2019/2020**. Nova Iguaçu, 2019b.

O’neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Keywan Riahi, K., & Sanderson, B. M. O Projeto de Intercomparação de Modelos de Cenários (ScenarioMIP) para o CMIP6. **Geoscientific Model Development**, 9, 2016.

PEREIRA, Gleice Santana. **Análise dos processos erosivos: aplicação de modelos preditivos na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, São Paulo - Brasil**. 2021. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Presidente Prudente, 2021.

PEREIRA, J.S. **Avaliação das perdas de solos por erosão laminar na área de influência da UHE Amador Aguiar I**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia. 2014

PREFEITURA DE NOVA IGUAÇU. Prefeitura de Nova Iguaçu decreta situação de emergência no município em decorrência das fortes chuvas. Disponível em: https://www.novaiguacu.rj.gov.br/wp/wp-content/uploads/2022/04/pmni_de_02-04-2022_-_edicao_extraordinaria_calamidade_corret_02080038.pdf

PRUSKI, F. F. Fatores que interferem na erosão hídrica do solo. In: PRUSKI, F. F. (Ed). **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

ROCHA, Vinícius Machado. Um breve comentário a respeito do IPCC AR6. **Entre-Lugar**, [S. l.], v. 12, n. 24, 2021.

RODRIGUES, G. *et al.* Estimativa preliminar da exportação de sedimentos da bacia hidrográfica do Rio Iquiri (Ituxi) em Acrelândia-AC por meio do software Invest, 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1134200/1/5953.pdf>. Acesso em: 15 de mai. de 2025.

SABALLO, H. L.; ZAKIA, M. J. B.; PRADO, M. F.; GOMES, A. N.; RODRIGUES, C. B. Estratégias land sharing - sparing no planejamento territorial da bacia hidrográfica do rio Saltinho - Imbaú/PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 4, e71869, p. 1-23, 2023.

SHARP, R.; TALLIS, H. T.; RICKETTS, T.; GUERRY, A. D.; WOOD, S. A.; CHAPLIN-KRAMER, R.; NELSON, E.; ENNAANAY, D.; WOLNY, S.; OLWERO, N.; VIGERSTOL, K.; PENNINGTON, D.; MENDOZA, G.; AUKEMA, J.; FOSTER, J.; FORREST, J.; CAMERON, D.; ARKEMA, K.; LONSDORF, E.; KENNEDY, C.; VERUTES, G.; KIM, C. K.; GUANNEL, G.; PAPENFUS, M.; TOFT, J.; MARSIK, M.; BERNHARDT, J.; GRIFFIN, R.; GLOWINSKI, K.; CHAUMONT, N.; PERELMAN, A.; LACAYO, M. MANDLE, L.; HAMEL, P.; VOGL, A. L.; ROGERS, L.; BIERBOWER, W.; DENU, D.; DOUGLASS, J. **InVEST Guia do Usuário. Natural Capital Project, Universidade de Stanford, Universidade de Minnesota, The Nature Conservancy e World Wildlife Fund**, 2020. 308 p.

SANTOS, C. R.; GONÇALVES VENDRUSCULO, L.; ALBERTO ZOLIN, C. Serviços ecossistêmicos na tomada de decisão com foco no desmatamento evitado: uma revisão sistemática. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 43, n. 01, 2023.

SILVA, Josenilson Bernardo da. Erosão e escoamento pluvial superficial: uma experiência na bacia hidrográfica do Glória em Uberlândia, Minas Gerais. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, v. 3, n. 2, p. 419–438, jul./dez. 2012.

THOMPSON, D.; FIDALGO, E. C. C.; LIMA, E. de P.; GONCALVES, A. O.; SCHULER, A. E.; LAUREANO, I. C. M. Estimativa e espacialização da erosividade para as bacias hidrográficas dos rios Guapi-Macacu e Caceribu. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. 2013, Foz do Iguaçu. **Anais[...]** São José dos Campos: INPE, 2013.

Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (UFSC-CEPED). **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil**. Florianópolis: CEPED -UFSC; 2012.

Vigiak, O., *et al.* Comparação de métricas conceituais de paisagem para definir a razão de entrega de sedimentos em escala de encosta. **Geomorphology**, 2012

WALKER, D. Manual de treinamento do curso de desenvolvimento profissional. Filadélfia, **Pennsylvania: International Erosion Control Association (IECA)**, 2004.