



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

**ISABELA BANDEIRA TRECE**

**USO DO INVEST NA PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA OTIMIZAÇÃO DE  
INVESTIMENTOS EM SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS**

Profa. Dra. CLAUDIA MOSTER  
Orientadora

SEROPÉDICA, RJ  
JULHO –2023



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

**ISABELA BANDEIRA TRECE**

**USO DO INVEST NA PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA OTIMIZAÇÃO DE  
INVESTIMENTOS EM SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS**

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  
JULHO –2023

**USO DO INVEST NA PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA OTIMIZAÇÃO DE  
INVESTIMENTOS EM SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS**

**ISABELA BANDEIRA TRECE**

APROVADA EM: 19 de julho de 2023.

BANCA EXAMINADORA:

---

Profa. Dra. CLAUDIA MOSTER – UFRRJ  
Orientadora

---

MONIQUE MUNIZ M. DIAS - ENGENHEIRA FLORESTAL  
Membro

---

GABRIELA MIRANDA TEIXEIRA - AGEVAP  
Membro

Em memória: Meu pai, que junto com a minha mãe, me ensinou que o amor é liberdade, mas com responsabilidade, sendo um dos retalhos fundamentais na minha construção de vida. A minha vó, que ensinou minha mãe, que juntas me exemplificaram o que é ter coragem e determinação.

## AGRADECIMENTOS

Parafrazeando Cris Pizziment: “Eu sou feita de retalhos. Pedacinhos coloridos de cada vida que passa pela minha e que vou costurando na alma(...)”. E de retalho a retalho, ao longo desses anos de jornada, tive vivências únicas que me permitiram chegar até aqui. Mas ressalto que, essas vivências e essa formação humana, foi graças aos que passaram, foram e ficaram na minha vida. O que me impossibilita realizar um agradecimento tão simplório.

Então, agradeço a minha mãe pela força e perseverança. Esse título não é só meu e sim de todas as que me antecederam. Mãe, deixo aqui um agradecimento mais que especial porque esse diploma é nosso! Te amo imensamente. Obrigada por me ensinar tanto, principalmente, a liberdade de saber que sei que eu posso escolher e por me ensinar a como decidir meus caminhos.

À minha orientadora, Claudia Moster, uma mulher inspiradora e tão sonhadora, que sempre me incentivou a alcançar voos maiores sem medo de ser. Que sempre me orientou pela lógica do transbordamento dos conhecimentos, me permitindo criar e sonhar. Graças a você eu pude entender o que é uma formação emancipatória. Obrigada!

À Monique, minha coorientadora, que desde que cheguei no Laboratório de Manejo de Bacias, foi a minha mentora e incentivadora para perder o medo de mexer com essa modelagem e me apresentou tudo de processamento remoto, sempre disposta a me ensinar, de forma simplificada e com toda a paciência do mundo. Gratidão Monique!

Aos meus amigos do ensino médio, que me acompanharam e acompanham nessa jornada, vibrando com as minhas vitórias e rindo comigo das derrotas. E que, mesmo à distância provaram que a nossa amizade ganhou o tempo e hoje, persiste em se manter florida.

À Ingrid e Ana Lúcia pela amizade e irmandade e pelo “ombro na noite quieta” que vocês me deram e dão ao longo dessa jornada, que dentre toda a inspiração e aprendizado que tenho, foram as mulheres mais essenciais na minha formação me dando colo (e teto) quando eu mais precisei.

À ONG TNC, em especial ao Hendrik Mansur, que sempre de forma enérgica apresentou novos caminhos e possibilidades. Sendo exemplo de um profissional incrível, que além de uma bagagem técnica absurda, tem um poder articulador que me ensina e inspira muito.

À AGEVAP, em especial à toda equipe e gerência, pelo incentivo e apoio dado para eu me tornar Engenheira Florestal. Vocês são um time que eu levo comigo. Um agradecimento mais que especial, a Gabriela Teixeira, minha gerente, que além de topiar sem pestanejar em estar na minha banca, sempre foi uma inspiração de profissional para mim.

À essa casa que é a UFRRJ, que me mostrou como viver em coletivo é essencial para o nosso bem-viver. Que me trouxe tantas experiências únicas e me deu uma formação completa, me formando um ser humano melhor.

Ao Instituto de Florestas, aos professores e professoras, aos demais servidores.

Ao PET Floresta e ao Laboratório de Bacias Hidrográficas, que me deram a bagagem técnica fundamental para encerrar esse ciclo de forma mais madura e tranquila.

Ao IFRJ- Pinheiral, pela bagagem primária essencial para a minha formação humana e por me apresentar a Engenharia Florestal. Graças à esta casa, de formação de excelência, eu pude ingressar numa universidade pública e me apaixonar pela pesquisa.

Aos que passaram pelo meu caminho e que, de alguma forma, ficaram marcados em mim. Que me ensinaram, me transformaram e me fizeram refletir e aprender. Crescer dói um pouco, mas faz parte do processo.

Por fim, agradeço a Gaia, Patchamama, Deus ou a qualquer nome dessa entidade cósmica, que sempre cruzou o meu caminho com o caminho de pessoas incríveis, me guiando a escolher a melhor rota.

## RESUMO

Este estudo analisou os serviços ecossistêmicos hidrológicos (SEH), especificamente em relação à qualidade da água utilizada para abastecimento humano, oriunda de bacias hidrográficas rurais, em que a perda de solo é um fator importante para a disponibilidade hídrica. Os fatores como cobertura e uso da terra, clima e solo, desempenham papel crucial no processo de geração do escoamento. O modelo InVEST SDR foi utilizado para simular a contribuição do uso e cobertura do solo na oferta desses serviços hidrológicos. A metodologia da TNC foi empregada para a precificação, considerando os custos de restauração. Os resultados mostraram que a UHP do Rio Santana apresenta maior viabilidade em relação ao custo e benefício do investimento em infraestrutura verde. Considerando a área do corredor Tinguá-Bocaina, a restauração florestal em pastagem resultaria em redução de 84% na perda de solo, um aumento de 7% na retenção de sedimentos e 63% de diminuição na exportação de sedimentos. O valor dos investimentos seriam de 300 a 800 milhões de reais, considerando a UHP prioritária, dependendo do método adotado. Esse plano de investimento resultaria em outros serviços ecossistêmicos, além da qualidade da água, como aumento do estoque de carbono, conectividade da paisagem para fluxo gênico, polinização, entre outros.

**Palavras-chave:** Restauração florestal, modelagem, mata atlântica.

## ABSTRACT

This study analyzed the hydrological ecosystem services (HES), which are related to natural processes that affect the flow, water yield, and water quality in watersheds for public water supply. Factors such as land cover, land use, climate, and soil play a crucial role in these processes. The InVEST model was used to simulate the contribution of land use and land cover to the provision of these hydrological services. The TNC methodology was employed for pricing, considering the restoration costs. The results showed as priority area to investment the UHP Santana River. The forest restoration in pasture cover located in Bocaina-Tinguá Ecological Corridor resulted in 84% reduction in soil loss, 7% in sediment retention increased, and 63% less sediment exportation. The value of the investments would range from 300 to 800 million reais, considering the priority UHP, depending on the method adopted. This investment plan would result in other ecosystem services, in addition to water quality, such as increased carbon stock, landscape connectivity for gene flow, pollination, among others.

**Keywords:** Forest restoration, modeling, rainforest.



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIACÕES</b>	<b>IX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>2</b>
2.1. Serviços ecossistêmicos hidrológicos de áreas florestais	2
2.2. O modelo INVEST	3
2.3. Restauração Florestal e o Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina	4
2.4. Comitê Guandu e UHP	5
2.5. Metas de Restauração e Conservação Florestal:	7
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>8</b>
3.1. Caracterização da área	8
3.2. InVEST SDR	12
3.3. Custos da restauração	18
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>19</b>
4.1. Avaliação da perda de solo estimada pelo InVEST SDR	19
4.2. Otimização dos investimentos em infraestrutura verde	22
<b>5. CONCLUSÃO</b>	<b>24</b>
<b>6. REPERERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>25</b>

## LISTA DE ABREVIACOES

RH II: Região Hidrográfica II, sinnimo de Região Hidrográfica do Guandu;

INEA: Instituto Estadual do Ambiente;

UFRRJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro;

UHP: Unidade Hidrográfica de Planejamento;

INVEST: Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs;

SDR: Sediment Delivery Ratio – SDR;

TNC: The Nature Conservancy (Conservao da Natureza);

IGP-DI: Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna.

ANA: Agência Nacional de Águas

USLE: Equao Universal de Perda de Solo.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil, que ocupa quase metade da América do Sul, é reconhecido como o território mais biodiverso do planeta, com mais de 116.000 espécies animais e mais de 46.000 espécies vegetais conhecidas em seu território. Essas espécies estão distribuídas pelos seis biomas terrestres e três grandes ecossistemas marinhos, o que representa mais de 20% do total de espécies encontradas em terra e água em todo o mundo (CONVENTION on BIOLOGICAL DIVERSITY, 2020). Como resultado dessa rica biodiversidade, o Brasil abriga diversos serviços ecossistêmicos, incluindo os de provisão de alimentos, energia e água.

Com o sistema econômico vigente e a exploração desenfreada, a mudança do clima já impacta e ameaça a vida humana do planeta (GIROTO, 2015), fragilizando principalmente a segurança hídrica, um recurso natural vital, defendido como direito básico constitucional preconizadas no Art. 6º e 225 da Constituição Federal (1988) e no Artigo 6º da Emenda Constitucional n.º 64/2010 que trata a água como um direito social comum a todos e todas (BRASIL, 1988).

A conversão de pastagens em áreas florestais pode contribuir positivamente para diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, segundo relatório da FAO de 2021. Além de aumentar a diversidade de espécies e melhorar a segurança alimentar e a renda das comunidades locais, a restauração florestal pode melhorar a qualidade da água e mitigar as mudanças climáticas, contribuindo para os ODS 6, 7 e 13 (FAO, 2020).

Através do uso de modelagem, é possível estimar cenários de intervenções. O modelo Invest SDR (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) é utilizado para fornecer uma visão dos processos de erosão, transporte e retenção de sedimentos, permitindo uma avaliação dos efeitos na melhoria da qualidade da água.

Realizar a cenarização da mudança do uso do solo permite com que, a partir da quantificação da retenção de sedimento, haja o planejamento a nível de gestão do território para a seleção de áreas prioritárias para a restauração florestal, visando o provimento do serviço ecossistêmico hídrico, em menores áreas.

A área de estudo abrange o Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina, localizado principalmente na Região Hidrográfica II. A escolha dessa área como objeto de pesquisa se justifica pelo impacto significativo que a Região Hidrográfica II exerce no abastecimento de água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, localizada no Sudeste do Brasil. Essa região desempenha um papel fundamental no abastecimento de água para aproximadamente 12 milhões de pessoas, por meio do sistema de captação do Rio Guandu. (COMITÊ GUANDU, 2022).

Ressalta-se que, durante a crise de 2014-2015, o reservatório principal do Guandu, que depende principalmente da bacia do rio Paraíba do Sul, enfrentou um déficit hídrico significativo. Nesse período, a capacidade de armazenamento do sistema atingiu os níveis mais baixos já registrados, alcançando apenas 37% (COSTA, FARIAS & JOHNSON, 2017), em comparação com a média histórica de 73% (ANA, 2010). Isso evidencia a grave escassez de água e os desafios enfrentados para garantir o abastecimento nessa região durante a crise.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi a elaboração, a partir de dados espaciais disponíveis e modelos ecológico-econômicos de acesso gratuito, de priorização de áreas (sub-bacias) para restauração florestal na RH II, de acordo com a retenção de sedimentos. Considerando as Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHP) da RH II e o corredor Tinguá Bocaina, resultando em um cenário para o incremento na provisão de serviços ecossistêmicos de forma otimizada para a melhoria da qualidade hídrica. Assim, os objetivos específicos são:

- i) Organizar uma base de dados espaciais disponíveis para a área de estudo, que serão utilizados para a modelagem de serviços ecossistêmicos;
- ii) Elaborar cenários de restauração na Unidade Hidrológica de Planejamento (UHP) sobreposta ao Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina, inseridas na RH II;
- iii) Realizar o processamento dos dados espaciais obtidos para gerar informações relevantes que contribuirão para a elaboração de cenários a serem simulados;
- iv) Aplicar o modelo do InVEST SDR, para retenção de sedimentos, considerando os cenários propostos;
- v) Selecionar o cenário a ser apresentado, de acordo com o objetivo geral;
- vi) Estimar custos da restauração florestal na RH II para o cenário de melhoria da qualidade hídrica.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Serviços ecossistêmicos hidrológicos de áreas florestais**

A água é um recurso vital para todo ser vivo e, pensar em água é obrigatoriamente pensar em floresta. Segundo o estudo publicado em 2020, pela Agência Nacional de Águas (ANA), cerca de 75% da água retorna para a atmosfera via evapotranspiração no Brasil (ANA, 2020).

O conceito de "serviços ecossistêmicos" tornou-se difundido no início do século XXI, após a divulgação dos resultados da Avaliação Ecosistêmica do Milênio (FROGER et al. 2012). Esta avaliação parte da premissa de que os ecossistemas têm valor econômico e destaca a valoração dos serviços ecossistêmicos hídricos no bioma Atlântico (Fundação SOS Mata Atlântica et al. 1998).

Os serviços ecossistêmicos hidrológicos (SEH) relacionam-se aos processos naturais que afetam a sazonalidade da vazão, o rendimento hídrico e a qualidade da água, em bacias hidrográficas utilizadas para o abastecimento público. A cobertura e o uso da terra são fatores que podem ser manejados e condicionam esses processos, além das características de clima e solo (TSONKOVA et al., 2014).

Levando em consideração o ciclo hidrológico, a dinâmica da água e o uso do solo, a cobertura florestal exerce forte influência no que diz respeito a conservação do solo. As árvores apresentam a função de interceptação da água da chuva, suas copas funcionam como um sistema de amortecimento das gotas de chuva, influenciando na redistribuição da água, e favorecendo a infiltração de água no solo (SHINZATO et al., 2009). Com isso, o armazenamento de água no solo é favorecido, ocorrendo a redução das amplitudes de vazão ao longo do ano e o retardamento dos picos de cheia (BALBINOT et al., 2008; BARROS, 2011).

Especificamente, no que tange à melhoria da qualidade hídrica, as florestas desempenham um papel crucial na retenção de sedimentos nos ecossistemas. A produção de serrapilheira atua como um amortecedor, absorvendo a energia das gotas de chuva e evitando o impacto direto no solo, reduzindo a erosão e o transporte de sedimentos (GARCÍA-COMENDADOR et al., 2017; TRECE et al., 2021). Além disso, o sistema radicular das árvores atua na estabilização do solo e na prevenção da erosão, uma vez que suas raízes penetram no solo, aumentando sua coesão e resistência à erosão, contribuindo para a retenção de sedimentos (VERDUM, VIEIRA & CANEPPELE, 2016).

A influência da estrutura do dossel florestal também é importante na retenção de sedimentos. A complexa estrutura do dossel das florestas desempenha um papel na dissipação da energia da chuva, reduzindo o impacto direto no solo e, conseqüentemente, a erosão e o transporte de sedimentos (FEITOSA, 2022; HINATA & BASSO, 2022). Essas características e processos presentes na vegetação florestal contribuem significativamente para a redução da erosão e o conseqüente transporte de sedimentos para corpos d'água.

Dessa forma, as florestas, por meio da produção de serrapilheira, do sistema radicular das árvores e da complexa estrutura do dossel florestal, desempenham um papel essencial na retenção de sedimentos nos ecossistemas, contribuindo para a melhoria da qualidade hídrica e evitando problemas como a erosão do solo e o transporte excessivo de sedimentos para corpos d'água.

## **2.2. O modelo INVEST**

Modelagem é uma técnica utilizada em diversas áreas do conhecimento para representar a realidade por meio de modelos simplificados que permitem a análise, previsão e simulação de fenômenos complexos. Em outras palavras, a modelagem é o processo de criar um modelo matemático, estatístico ou computacional que descreva um sistema ou fenômeno de interesse, a fim de entender seu comportamento, prever seu desempenho ou simular diferentes cenários (GAVIRA, 2003; BREITMAN et. al., 2015).

O InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) é uma ferramenta gratuita que tem como objetivo fornecer informações para tomada de decisão em relação à gestão de recursos naturais. Uma das funções do Invest é calcular o valor dos serviços ecossistêmicos fornecidos por uma determinada área, incluindo a regulação do ciclo hidrológico (TORRES et. al., 2017).

O InVEST é um modelo aprimorado que permite simulações sobre a contribuição do uso e cobertura do solo para a oferta de serviços hidrológicos (BHAGABATI et al., 2014). Ele está diretamente relacionado ao uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e opera com arquivos do tipo raster. O modelo realiza uma estimativa da produção de sedimentos para cada pixel presente nos dados de entrada (FREITAS, 2018). Esse software apresenta uma série de modelagens, sendo o foco desse estudo o InVEST SDR (Sediment Delivery Ratio) que tem como objetivo principal mapear a geração de sedimentos e sua entrega ao fluxo, bem como, avaliar os serviços ecossistêmicos e fornecer informações para auxiliar a tomada de decisões no gerenciamento de recursos naturais (BAI et al., 2011; SHARP et al., 2015).

O módulo SDR (Sediment Delivery Ratio) possibilita calcular a perda média anual de solo em cada parcela de terra por meio da integração de diferentes dados morfométricos, como declividades e comprimento de rampa, informações sobre precipitações (erosividade), propriedades dos solos (erodibilidade) e classes de uso e cobertura da terra. E também é possível determinar a quantidade de solo que pode chegar a um ponto específico de interesse, levando em consideração a capacidade de cada parcela de terra para reter sedimentos. Isso significa que o SDR pode avaliar como os sedimentos são transportados e retidos ao longo de uma bacia hidrográfica, fornecendo informações valiosas para o manejo e conservação dos solos e recursos hídricos (RODRIGUES et. al, 2021).

Para realizar essa estimativa, o modelo utiliza como base a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), que relaciona a erosão do solo com fatores como a cobertura vegetal, tipo de solo, topografia e o regime de chuvas.

Ao utilizar a USLE, o modelo pode calcular o impacto da erosão do solo sobre a qualidade da água disponível na área em questão. Isso permite que os tomadores de decisão tenham uma compreensão mais clara dos efeitos das atividades humanas sobre os ecossistemas

locais e possam implementar políticas e práticas mais sustentáveis para a gestão dos recursos naturais (KAREIVA, P., TALLIS, H., RICKETTS, T. H., DAILY, G. C., & POLASKY, S., 2011).

A USLE é uma equação matemática que estima a erosão do solo em uma determinada área, levando em consideração cinco fatores que influenciam esse processo. Sendo eles:

R: Fator de erosividade da chuva - representa a capacidade da chuva em causar erosão do solo. Esse fator leva em consideração a quantidade e a intensidade das chuvas em uma determinada região.

K: Fator de erodibilidade do solo - representa a suscetibilidade do solo à erosão. Esse fator é influenciado pela textura, estrutura e conteúdo de matéria orgânica do solo.

LS: Fator topográfico - representa a influência da topografia na erosão. Esse fator leva em consideração o comprimento e a inclinação dos declives presentes na área.

C: Fator de cobertura e manejo do solo - representa o efeito da cobertura vegetal e do manejo do solo na erosão. Esse fator é influenciado pela quantidade e tipo de cobertura vegetal presente na área, bem como pelas práticas de manejo do solo adotadas.

P: Fator de práticas de conservação do solo - representa a eficácia de práticas de conservação do solo na redução da erosão. Esse fator leva em consideração as práticas de conservação do solo adotadas, como a construção de terraços, o plantio em curvas de nível, entre outras.

Dessa forma, a USLE considera esses cinco fatores para estimar a erosão do solo em uma determinada área, levando em consideração a interação entre eles (LUEDELING et. al., 2011).

Portanto, o InVEST é uma ferramenta importante para a avaliação do valor dos serviços ecossistêmicos hídricos, bem como para a tomada de decisão em relação à gestão sustentável dos recursos naturais.

### **2.3. Restauração Florestal e o Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina**

O Brasil estabeleceu o compromisso de restaurar 12 milhões de hectares de áreas degradadas e florestas até o final desta década, conforme a Política Nacional para Recuperação da Vegetação Nativa (BRASIL, 2017). A restauração florestal é um processo que visa recuperar ecossistemas degradados, danificados ou destruídos, com o objetivo de restabelecer sua integridade ecológica por meio de ações intencionais, tanto naturais como assistidas pelo ser humano. Essas ações buscam restabelecer a biodiversidade mínima e a estrutura funcional dos processos ecológicos, levando em consideração os valores ambientais, ecológicos e sociais do ecossistema em questão (INEA, s/a; ICMBIO, 2021).

A Mata Atlântica, uma floresta tropical que abrange aproximadamente 15% do território brasileiro em 17 estados, teve sua vegetação original reduzida a apenas 24% (SOS MATA ATLÂNTICA, 2023). Diante disso, no estado do Rio de Janeiro, que possui alta concentração populacional, foram identificadas áreas prioritárias para conservação e restauração. Um exemplo é o Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina, no qual a CEDAE assumiu a meta de criar um corredor ecológico entre as duas áreas protegidas, visando à conservação da biodiversidade e à preservação dos serviços ecossistêmicos. Esse corredor tem como objetivo garantir a continuidade dos habitats naturais, permitindo a movimentação de espécies e a manutenção dos processos ecológicos (CEDAE, s/a).

O Corredor Ecológico da Serra do Mar, localizado nos estados do Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro, representa o maior e mais bem preservado trecho contíguo da Mata Atlântica no Sudeste brasileiro. Dentro desse corredor, destaca-se o trecho situado entre a Reserva

Biológica do Tinguá e o Parque Nacional da Serra da Bocaina, que enfrenta uma das rupturas mais significativas desse bioma (REGENERA AMÉRICA, s/a; INEA, 2012).

Diante disso, no Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina, são desenvolvidas diversas ações, como de restauração e conservação florestal, identificação e o monitoramento de áreas prioritárias para conservação, a recuperação de áreas degradadas, a promoção de boas práticas agropecuárias e a educação ambiental (COMITÊ GUANDU, 2018). Além disso, busca-se estabelecer parcerias e fortalecer a participação da sociedade civil, organizações não governamentais e governos locais na gestão e no manejo sustentável da região.

#### **2.4. Comitê Guandu e UHP**

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) foi oficialmente reconhecida como tal em 1974 e abrange atualmente 22 municípios, com uma população total de 12 milhões de habitantes em 2017, de acordo com o IPEA (2018). No entanto, é importante notar que esses números podem ter variado desde então.

Em relação ao consumo de água tratada, estima-se que cada habitante da região utilize em média 291 litros por dia, conforme relatado pelo SNIS (2018). Esse valor é quase três vezes maior que a média nacional e a recomendação da ONU (ANA; IBGE, 2018), indicando um consumo per capita relativamente alto.

A região depende de quatro sistemas hídricos para o fornecimento de água, sendo o rio Guandu responsável por 92% desse abastecimento. O Sistema Lajes, construído na década de 1950, é o principal sistema de reservatórios e responde por mais de 95% do volume total de armazenamento de água (CEDAE, 2018).

No que diz respeito ao tratamento de água, a ETA Guandu é a única Estação de Tratamento de Água na região. Ela possui uma capacidade impressionante de tratar 3,7 bilhões de litros de água por dia, o equivalente a 43m<sup>3</sup> por segundo, o que a torna a maior do mundo nesse aspecto. É administrada pela Companhia Estadual de Água e Esgoto (CEDAE) (COMITÊ GUANDU, 2018).

A gestão da bacia do rio Guandu é realizada pelo Sistema Estadual de Recursos Hídricos, e o Comitê dos rios da Guarda, Guandu e Guandu-Mirim (CBH-Guandu) é o principal órgão responsável por reunir os diversos atores envolvidos. Criado pelo Decreto Estadual nº 31.178/2002, o Comitê abrange uma área de 370 mil hectares e inclui 15 municípios, sendo estes: Barra do Piraí, Engenheiro Paulo de Frontin, Itaguaí, Japeri, Mangaratiba, Mendes, Miguel Pereira, Nova Iguaçu, Paracambi, Piraí, Queimados, Rio Claro, Rio de Janeiro, Seropédica e Vassouras (Figura 1). Sete deles estão localizados fora da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), o que aumenta a complexidade na gestão e compartilhamento dos recursos hídricos (COMITÊ GUANDU, 2022).

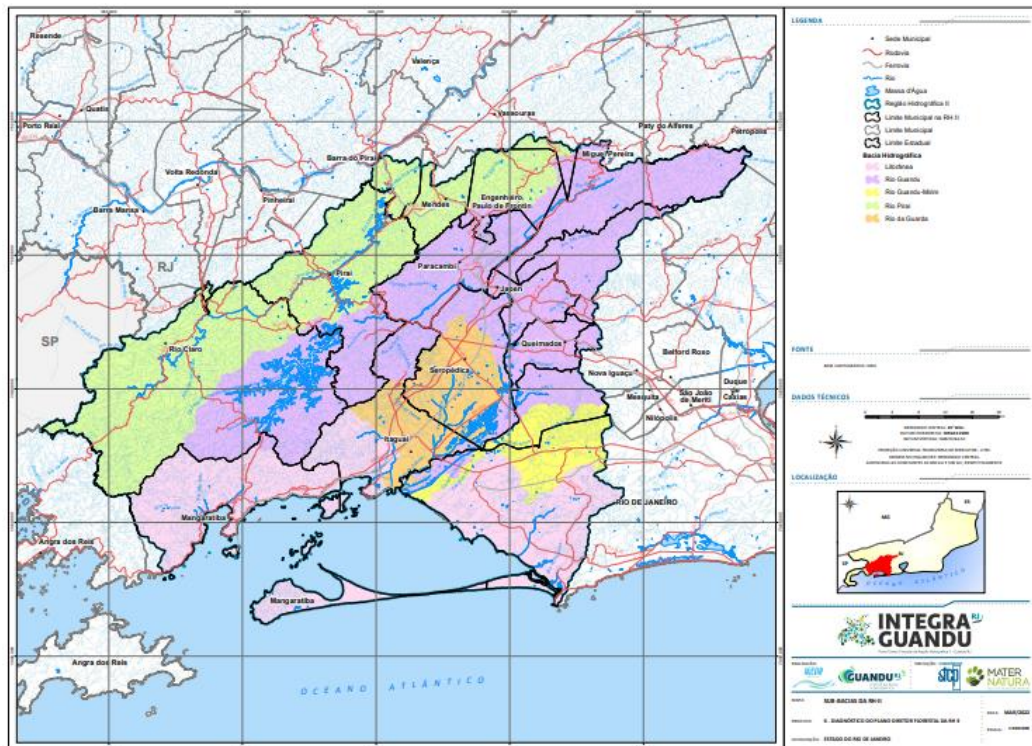
Formada pelas bacias hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim, a região é fundamental para subsistência e desenvolvimento da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro (RMRJ), uma vez que suas águas são responsáveis pela segurança hídrica desta, que é a segunda maior região metropolitana do país, sendo responsável pelo abastecimento de 12 milhões de pessoas (COMITÊ GUANDU, 2022).

Atualmente, o CBH-Guandu é composto por representantes dos grandes usuários de água, das prefeituras, da sociedade civil, dos órgãos estaduais e do governo federal. Só no Plenário, que é o órgão máximo de deliberação do Comitê Guandu-RJ é composto por 42 membros, todos com direito a voto. Destes, 14 são usuários de água, 14 são da sociedade civil e os outros 14 são representantes do poder público, entre os governos federal, estadual e municipal (COMITÊ GUANDU, 2022).

De modo a identificar e planejar as ações, o Comitê Guandu, por meio do Plano Estratégico de Recursos Hídricos para a região hidrográfica do Guandu (COMITÊ GUANDU, 2018), realizou uma análise em que foram delimitadas áreas de acordo com a homogeneidade das condições físicas (hidrográficas, hidrológicas, geológicas, morfológicas, entre outras), socioeconômicas, culturais, político-administrativas e institucionais, voltadas aos recursos hídricos (COMITÊ GUANDU, 2018). No total foram definidas 13 unidades hidrológicas de planejamento, cujas informações referentes aos nomes, área total e porcentagem relativa à área total da RH II de cada UHP (Figura 1 e Quadro 1).

Figura 1. Mapa de Localização da RH II.

Fonte: Diagnóstico do Plano Diretor Florestal da RH II (COMITÊ GUANDU, 2022).





### **Quadro 1.** Unidades Hidrológicas de Planejamento da RH II.

Fonte: COMITÊ GUANDU, 2018.

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentagem relativa à área total da RH II</b>
01	Rio Pirai - montante reservatório Santana	696,30	18%
02	Rio Pirai - reservatório Santana e afluentes	421,61	11%
03	Ribeirão das Lages - montante reservatório	320,70	8%
04	Ribeirão das Lages - jusante reservatório	345,42	9%
05	Rios Santana e São Pedro	424,65	11%
06	Rios Queimados e Ipiranga	250,29	7%
07	Rio Guandu	63,69	2%
08	Canal de São Francisco	41,19	1%
09	Rio da Guarda	393,08	10%
10	Rio Guandu-Mirim	263,05	7%
11	Bacias Litorâneas (MD)	287,56	8%
12	Bacias Litorâneas (ME)	213,92	6%
13	Ilhas e Restinga de Marambaia	94,20	2%
<b>Total Geral</b>		<b>3.815,67</b>	<b>100%</b>

De acordo com o mapa, as UHP 1, 2, 3, 4 e 5 encontram-se inseridas nos limites do Corredor. Apresenta-se, a seguir, as características descritivas:

UHP 1: Rio Pirai - montante do reservatório Santana: Engloba a porção do rio Pirai acima do reservatório de Santana, com predomínio de áreas agrícolas e preocupação com o uso do solo nas áreas de proteção. Disponibilidade hídrica boa, mas qualidade das águas comprometida em alguns locais (COMITÊ GUANDU, 2018);

UHP 2: Rio Pirai - reservatório Santana e afluentes: Compreende a parte inferior do rio Pirai, desde o reservatório de Santana, incluindo o rio Sacra Família. Similar à UHP 1, com presença de pastagens, disponibilidade hídrica boa e estruturas de transposição de água (COMITÊ GUANDU, 2018);

UHP 03: Ribeirão das Lajes - montante barragem: abrange toda a área que contribui para o Reservatório de Lajes, incluindo afluentes e a região alagada. Dada a relevância estratégica desse reservatório para o abastecimento de água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, é considerado crucial criar uma unidade exclusiva para essa área na Região Hidrográfica II (COMITÊ GUANDU, 2018);

UHP 04: Ribeirão das Lajes - jusante barragem: abrange toda a região do Ribeirão das Lajes após a barragem, incluindo a Usina Hidroelétrica Pereira Passos. A partir desse ponto, ocorre o ingresso do aporte das águas transpostas do Rio Paraíba do Sul, resultando em mudanças profundas no regime fluviométrico. Além disso, engloba a bacia do rio dos Macacos, um afluente do Ribeirão das Lajes, que demanda atenção especial devido a problemas de poluição hídrica, especialmente originados no município de Paracambi (COMITÊ GUANDU, 2018);

UHP 5: Rios Santana e São Pedro: Engloba as bacias dos rios Santana e São Pedro, com áreas relativamente preservadas, remanescentes vegetais e uma única sede municipal. Disponibilidade hídrica subterrânea elevada, mas balanço hídrico superficial crítico e problemas de drenagem (COMITÊ GUANDU, 2018).

## **2.5. Metas de Restauração e Conservação Florestal:**

De acordo com o Plano de Aplicação Plurianual de 2023 a 2026 (PAP), aprovado por meio da Resolução COMITÊ GUANDU-RJ no 177 de 23 de junho de 2023 que “Dispõe sobre a atualização do Plano de Aplicação Plurianual para o período de 2023 a 2026 dos recursos financeiros arrecadados com a cobrança pelo uso da água na Região Hidrográfica II – Guandu.”, é previsto no horizonte de 2023 a 2026 o investimento na ordem de quase R\$25 milhões de reais para os projetos de restauração e conservação florestal. Desses, R\$ 6 milhões de reais serão investidos em Programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), conforme Resolução Comitê Guandu nº 160, de 27 de maio de 2021, que estabelece o investimento mínimo de 3,5% da arrecadação do Comitê anualmente em PSA, como o Programa Produtores de Água e Floresta.

O Programa Produtores de Água e Floresta foi iniciado na sub-bacia do Rio das Pedras, localizado em Lídice (distrito do município de Rio Claro), realiza ações de restauração e PSA no território do Guandu, desde 2009 e posteriormente expandido para todo o município de Rio Claro. A partir de 2018 foi ampliado para a sub-bacia do Rio Sacra Família, que abrange os municípios de Mendes, Engenheiro Paulo de Frontin e Vassouras.

O PAF ao longo de 14 anos de existência, já repassou R\$ 2,7 milhões de reais aos produtores rurais beneficiados com o programa, em que mais de 100 proprietários já foram contemplados (COMITÊ GUANDU, 2023; 2023 a).

Em consequência, o Comitê aprovou, por meio da Resolução COMITÊ GUANDU-RJ Nº 160, de 27 de maio de 2021, que “dispõe sobre a criação do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais - Produtores de Água e Floresta”, metas e ciclos a serem cumpridos.

A cada ciclo (abertura de editais de contratação a cada dois anos), deverá ser atingida a meta da:

- a. Conservação de 800 hectares;
- b. Restauração florestal (ativa ou passiva) de 100 hectares;
- c. Conversão produtiva (Sistema Agroflorestal, Sistema Silvipastoril, Floresta Manejada e Práticas Conservacionistas) de 50 hectares.

Ressalta-se que, além desse investimento milionário por parte do Comitê Guandu, outras ações paralelas têm ocorrido no território, como o projeto Tinguá-Bocaina da CEDAE que prevê a restauração de 30 mil hectares de área, até 2050 e 10 mil hectares até 2030, neste importante maciço florestal (CEDAE, 2023).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Caracterização da área**

Inserido, quase, totalmente nos limites da RH II, a área de estudo, o Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina, cobre uma área de 195 mil hectares envolvendo nove municípios - Barra do Piraí, Engenheiro Paulo de Frontin, Mendes, Miguel Pereira, Paracambi, Paty do Alferes, Piraí, Rio Claro e Vassouras - e mananciais fundamentais para o abastecimento do Estado, como o Rio Guandu e a represa de Ribeirão das Lajes. A região ainda abriga unidades de conservação como o Parque Nacional da Serra da Bocaina, o Parque Estadual Cunhambebe e áreas de proteção ambiental (APAs), onde vivem 20 mil espécies nativas do ecossistema, das quais 6 mil endêmicas (CEDAE, s/a).

Para a área de estudo, foi realizado um recorte sobrepondo os limites da RH II, não sendo considerado o município de Paty do Alferes nesta análise. A Figura 3 apresenta a localização da área de estudo e hidrografia.

No que se refere ao uso e cobertura do solo, aproximadamente metade do território é coberto por florestas, enquanto cerca de 45% são utilizados como pastagem. O restante é dividido em massas de água (2%), áreas urbanas (1,4%), silvicultura (2,5%) e áreas descobertas (0,2%), como observado na Figura 4.

O clima varia entre tropical e subtropical, principalmente em decorrência do relevo ser bastante complexo, variando desde regiões mais aplainadas até pontos mais elevados e com relevo acidentado. O clima é considerado como subtropical úmido com verão quente (Cfa) ou ameno (Cfb), dependendo da região (COMITÊ GUANDU, 2022). A estação chuvosa concentra-se de janeiro a março e de outubro a dezembro, sendo que os maiores volumes acumulados acontecem na transição entre primavera e verão. De forma contrária, o período com menores volumes concentra-se entre os meses de abril a setembro, especialmente entre junho e agosto (transição outono/inverno). Avaliando os dados em termos anuais, a estação pluviométrica de nº 83763 (Tinguá) apresentou o maior valor médio acumulado, com  $2.009,34 \pm 438,30$  mm de chuva/ano (COMITÊ GUANDU, 2022).

O Corredor Tinguá Bocaina tem declividade variando de forte ondulado à montanhoso, que representam mais de 70% de todo o território. Conforme pode ser observado na Tabela 1. O relevo é predominantemente classificado como fortemente ondulado, segundo Embrapa (2018). Isso indica a propensão ao escoamento superficial e a produção de sedimentos. Elesbon et al. (2011) relacionam a declividade com a infiltração de água no solo, em que bacias com declives acentuados, reduzem a oportunidade de infiltração por apresentarem uma maior velocidade no escoamento, aumentando a suscetibilidade aos processos erosivos e às enchentes.

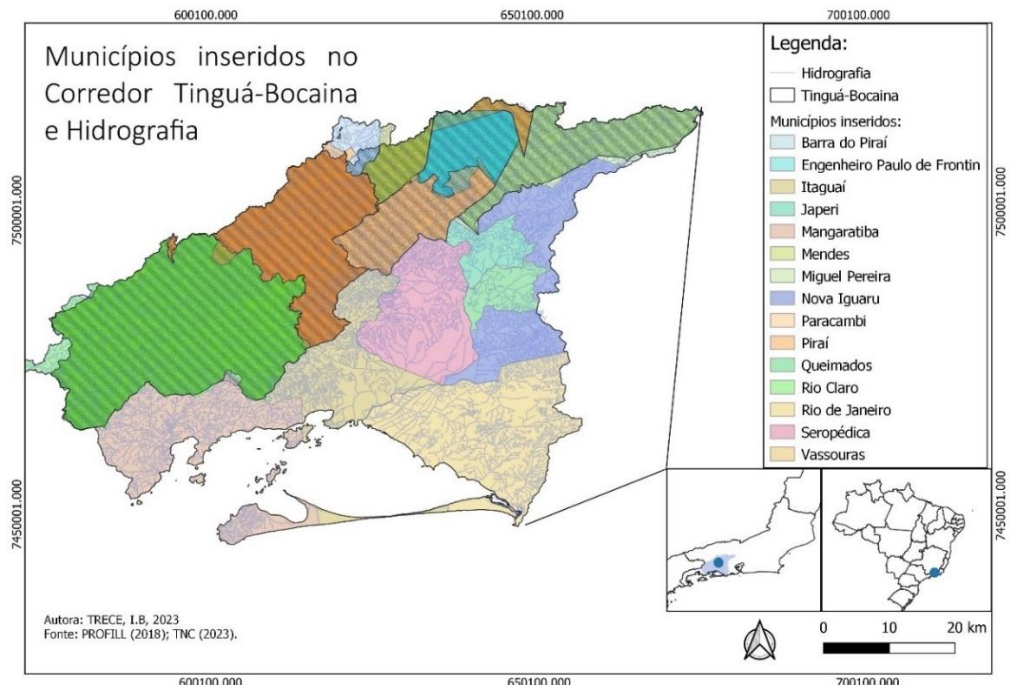
A pedologia na área, segundo o Banco de Dados de informações Ambientais (BDiA) do IBGE (2021), está dividida em quatro ordens, que são: Argissolos, Cambissolos, Latossolos e Neossolos, conforme pode ser observada na Figura 4.

Os solos mais representativos na região são o Latossolo e Argissolos, representando 65% de todo o corredor (Tabela 3). O Cambissolo também é bem expressivo representando mais de 20% do território. No gráfico a seguir, são exibidos os percentuais correspondentes a cada tipo de solo:

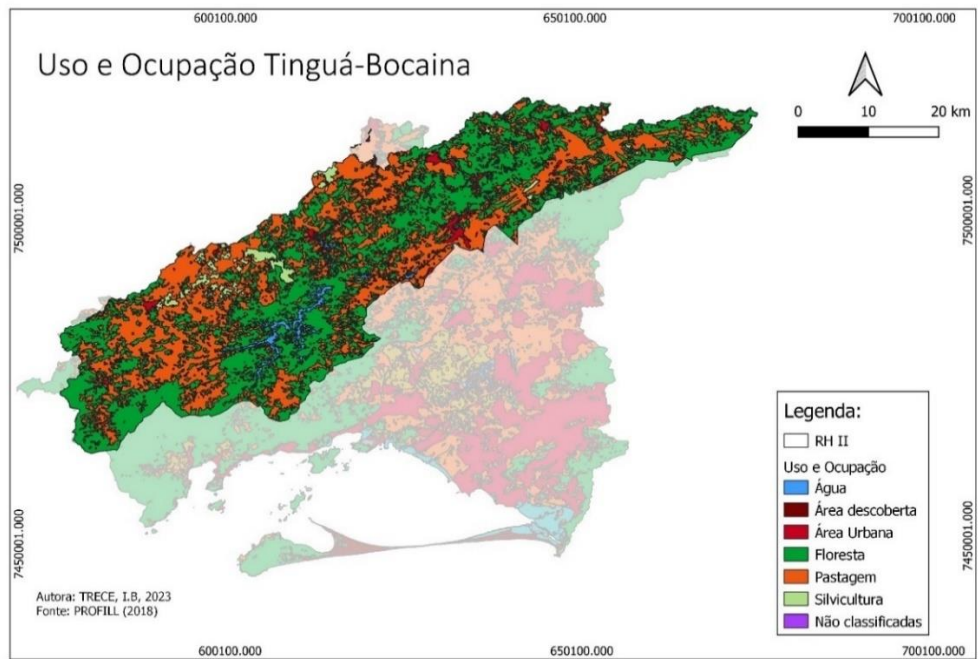
Como o processamento dos dados considerou os limites definidos pelas Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHP), na

**Figura 5** é apresentado o mapa com as divisões, que se inserem na área de estudo.

**Figura 2.** Municípios localizados no Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina.  
 Fonte: Própria autora. Adaptado base cartográfica COMITÊ GUANDU, 2018.



**Figura 3.** Mapa de Uso e ocupação do solo no Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina.  
 Fonte: Própria autora. Adaptado do PERH-Guandu (COMITÊ GUANDU, 2018).



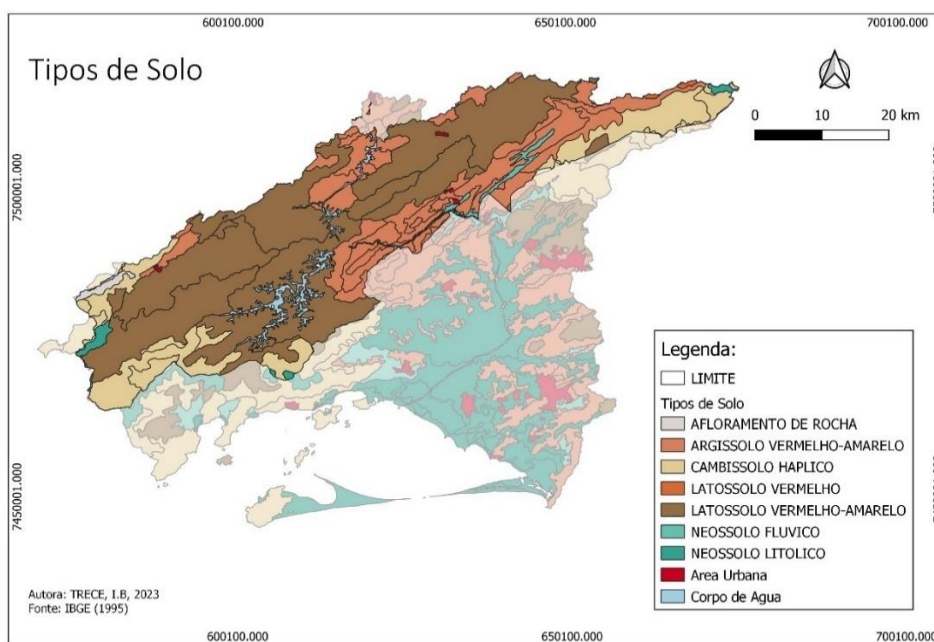
**Tabela 1.** Declividade da área de estudo.

Fonte: Própria autora. Adaptado base cartográfica COMITÊ GUANDU, 2018.

Declividade	Representatividade (%)
0 a 3,0% - Plano	1%
3,1 a 8,0% - Suave Ondulado	5%
8,1 a 20,0% - Ondulado	19%
20,1 a 45,0% - Forte Ondulado	47%
45,1 a 75,0% - Montanhoso	26%
>75,0% - Escarpado	3%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

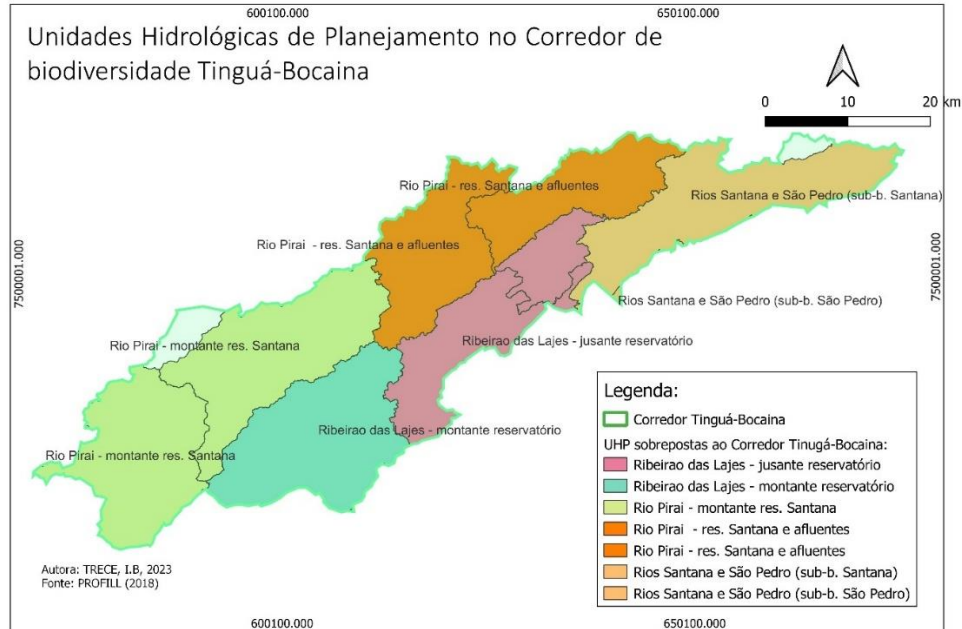
**Figura 4.** Mapa dos tipos de solo na área de estudo.

Fonte: Própria autora. Adaptado do Diagnóstico do Plano Diretor Florestal (COMITÊ GUANDU, 2022).



**Figura 5.** Mapa das UHP inseridas no Corredor.

Fonte: Própria autora. Adaptado do Diagnóstico do Plano Diretor Florestal (COMITÊ GUANDU, 2022).



### 3.2. InVEST SDR

Nesse trabalho foi utilizado o módulo para estimativa da taxa de exportação de sedimentos (Sediment Delivery Ratio - SDR), na versão 3.13.0 para estimar a perda de solo e retenção de sedimentos na área de estudo. O software usa como modelo a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) que é uma equação empírica não linear utilizada para estimar a perda de solo (A). Ela leva em consideração diversos fatores, incluindo a erosividade da chuva (R), a erodibilidade do solo (K), o comprimento de rampa (L), a declividade (S), o uso e manejo do solo (C) e as práticas conservacionistas (P). A fórmula geral é expressa como

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P.$$

Para cálculo da retenção de sedimentos o modelo utiliza como base um cenário hipotético, que considera toda a área como solo descoberto. O valor de retenção é resultado da diferença entre a exportação de sedimentos do cenário hipotético e do cenário de interesse. O índice de retenção de sedimentos é estimado pela equação:

$$R_i * K_i * LSi (1-C_i * P_i) * SDR_i$$

Onde:

$R_i$  = erosividade da chuva para o *pixel i* (MJ.mm/ha.hr)

$K_i$  = erodibilidade do solo para o *pixel i* (ton.ha.hr/MJ.ha.mm)

$LS_i$  = fator de comprimento e declividade para o *pixel i*

$C_i$  = fator de cobertura do solo para o *pixel i*

$P_i$  = fator de práticas conservacionistas para o *pixel i*

$SDR_i$  = fator  $SDR$ , taxa de entrega de sedimentos

O modelo estima a exportação de sedimentos levando em consideração a quantidade total de sedimentos exportados de cada pixel que alcança o curso d'água. A taxa de entrega de sedimentos ( $SDR$ ) para cada pixel é influenciada pela área da encosta ascendente e pelo caminho do fluxo descendente. Dessa forma, calcula-se a quantidade de sedimento erodido ( $USLE_i$ ) e, em seguida, o sedimento exportado ( $SDR_i$ ), que é a proporção de perda de solo que realmente alcança o exutório da bacia. A carga de sedimento do pixel de interesse ( $E_i$ ) é dada pela Equação:

$$E_i = USLE_i \times SDR_i$$

A taxa de sedimento exportado ( $SDR$ ) proposta por Vigiak et al. (2012) é definida pela Equação:

$$SDR_i = SDR_{max} / (1 + \exp[(IC_0 - IC_1)/k])$$

Onde:

$SDR_{max} = 0,8$  ( $SDR$  teórico máximo, segundo Vigiak et al., 2012).

$IC_0$  e  $k$  = parâmetros de calibração que determinam a forma da relação entre  $SDR$  e o índice de conectividade ( $IC$ ). A função é crescente.

O índice de conectividade ( $IC$ ), conforme apresentado na equação anterior, foi desenvolvido por Borselli et al. (2008) para reproduzir o transporte de sedimentos no escoamento superficial. O  $IC$  modela a exportação ou retenção do sedimento pixel a pixel, com base na relação entre as declividades dos pixels vizinhos, conforme representado na Equação a seguir:

$$IC = \log_{10} (D_{acima} / D_{abaixo})$$

Onde:

$D_{acima}$  = declividade do pixel a montante.

$D_{abaixo}$  = declividade do pixel a jusante.

O InVEST trabalhou de acordo com a resolução do raster do modelo digital de elevação (MDE), com 12,5 m, para atribuir a cada pixel a quantidade de perda anual de solo e a taxa de entrega de sedimentos ao rio. A base foi obtida no site da NASA, que com o satélite do ALOS Global Digital Surface Model "ALOS World 3D", fornece dados de altimetria para todo o mundo.

Para cálculo do índice de Erosividade da chuva (Fator R) foi utilizado o raster obtido pelo Global Rainfall Erosivity Database (GloREDA), o banco de dados de erosividade de chuva em escala europeia (REDES). O mapa de erosividade global tem resolução de 1km e apresenta resultados na unidade MJ.mm/ha.h.ano.

O fator C, parâmetro de proteção do solo para cada classe de uso da terra, foi definido por meio de metodologia pela TNC, no "Manual Modelo SDR do InVEST para a região da Mantiqueira" (s/ano), que considerou os valores médios de classes similares ou iguais às



ocorrentes no estado do Rio de Janeiro, por meio do Mapa de Uso e Cobertura do Solo, disponibilizado pela Fundação Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro.

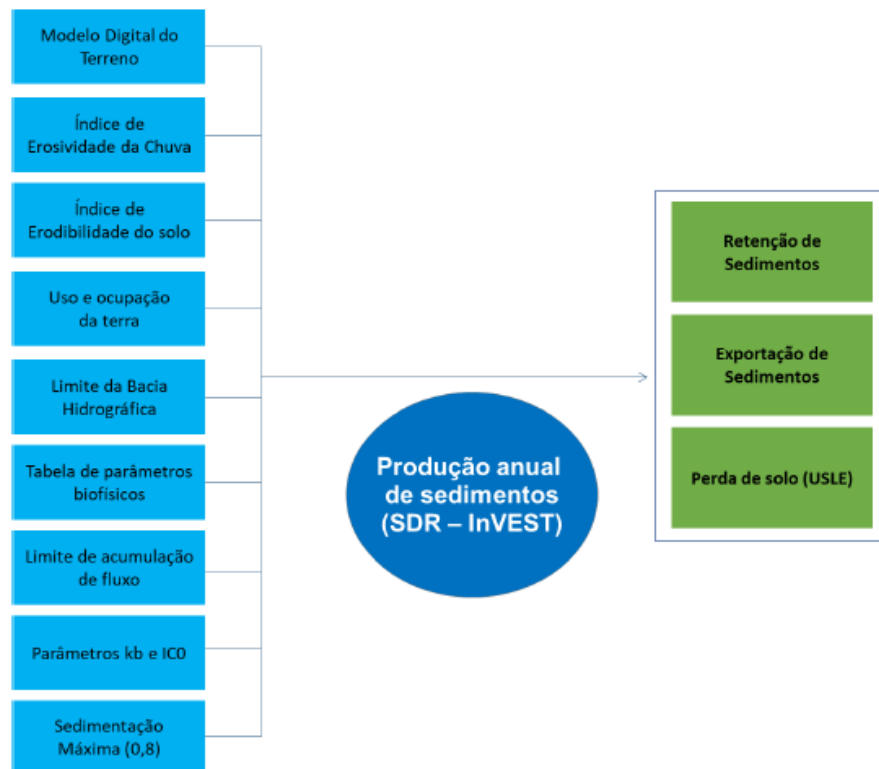
O fator P foi uniformemente definido como 1 (valor máximo), que indica a não existência de práticas conservacionistas, ou seja, a condição crítica no processo de erosão.

Para o índice de erodibilidade dos solos (fator K), foi utilizado como base o estudo de Godoi et al. (2021), que elaborou o mapa de erodibilidade de alta resolução (~ 250 m x 250 m) para todo o Brasil por meio da equação da USLE, de forma gratuita.

Os dados necessários (Figura 6) para as simulações foram processados no Quantum GIS na versão 3.22.9-Białowieża antes de serem utilizados pelo InVEST.

**Figura 6.** Fluxograma da modelagem da produção anual de sedimento utilizando o módulo SDR do InVEST.

Fonte: Moster (2018).



O banco de dados necessários para a modelagem, como demonstrado no quadro 2, apresentou diferentes fontes e foi processado em ambiente SIG. A descrição, origem, resolução e utilização das bases podem ser consultadas no Quadro 2.

**Quadro 2.** Dados de entrada necessários para a modelagem da USLE com InVEST SDR.

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	ORIGEM, FORMATO E RESOLUÇÃO ORIGINAL DOS DADOS
Uso do solo	Distribuição da vegetação nativa e de ambientes alterados na área de estudo	Plano Estratégico de Recursos Hídricos da RH II (COMITÊ GUANDU, 2018). Shapefile. Escala 1:25.000
Altitude	Modelo digital de elevação (metros)	ALOS Global Digital Surface Model. Raster (~30×30 m)
Erosividade da chuva	Distribuição da erosividade da chuva	Mello et al. (2013). Regressão múltipla para a região Sudeste
Erodibilidade do solo	Distribuição da erodibilidade do solo	Godoi et al. (2021). Raster (~250×250 km)
Fator de cobertura e manejo do solo C	Informação sobre o fator C para cada uso do solo	Duarte et al. (2016). Tabela
Fatores de práticas conservacionistas de suporte (P)	Informação sobre o fator P para cada uso do solo	Duarte et al. (2016). Tabela
Limites da área de interesse	Recorte da sobreposição do Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina e AIPM	AIPM (Inea, 2018); Tinguá-Bocaina (TNC, 2023). Shapefiles. Escala 1:25.000;
Limite da RH II	Limites da Região Hidrográfica II e sub-bacias de interesse	Inea (2018). Shapefile. Escala 1:25.000
Unidade Hidrológica de Planejamento	Limites da Região Hidrográfica II e sub-bacias de interesse	Plano Estratégico de Recursos Hídricos da RH II (COMITÊ GUANDU, 2018). Shapefile. Escala 1:25.000

Fonte: Própria autora.

Para cálculo do índice de Erosividade da chuva (Fator R) foi utilizado o arquivo obtido pelo Global Rainfall Erosivity Database (GloREDa), o banco de dados de erosividade de chuva em escala europeia (REDES). O mapa de erosividade global tem resolução de 1km e apresenta resultados na unidade MJ.mm/ha.h.ano.

Para a classificação do uso e ocupação do solo, foi utilizada a base disponibilizada no SIGA Guandu referente ao Plano Estratégico de Recursos Hídricos (2019), na escala 1: 25.000. Sendo a base simplificada para seis classes: pastagem, floresta, silvicultura, área urbana, área descoberta e massas de água.

Para o processamento dos dados é necessário que seja elaborada uma tabela, chamada de biofísica, que utiliza os valores das práticas conservacionistas de suporte (C) e Fator de cobertura e manejo do solo (P). Sendo elaborada a partir dos tabela do trabalho de Duarte et al. (2016). Essa tabela reúne informações do modelo correspondentes a cada uma das classes de uso do solo utilizadas no trabalho e serve para indicar a taxa de perda de solo para cada tipo de uso e ocupação, conforme pode ser observado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Tabela biofísica para InVEST SDR com os dados de C e P da USLE para cada classe de uso e cobertura do solo.

Classe de uso e cobertura do solo	C	P
Área Urbana	0,0053333	1,0
Pastagem	0,0288	1,0
Floresta	0,0007	1,0
Silvicultura	0,0085	1,0
Água	0,0	1,0
Área descoberta	1,0	1,0

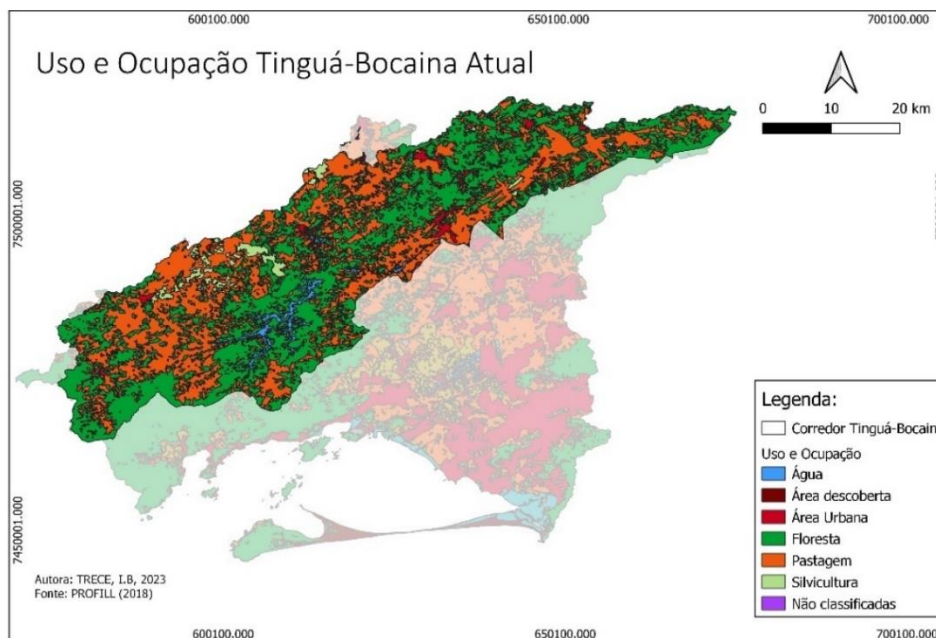
Fonte: Ajustado de Duarte et al. (2016).

Para os parâmetros de calibração do modelo (K e IC0), que determinam a forma da relação entre a conectividade hidrológica e a taxa de entrega de sedimentos, manteve-se os valores padronizados e sugeridos pelo modelo (K= 2 e IC0=0,5). Para o parâmetro de sedimentação máxima utilizou-se 0,08.

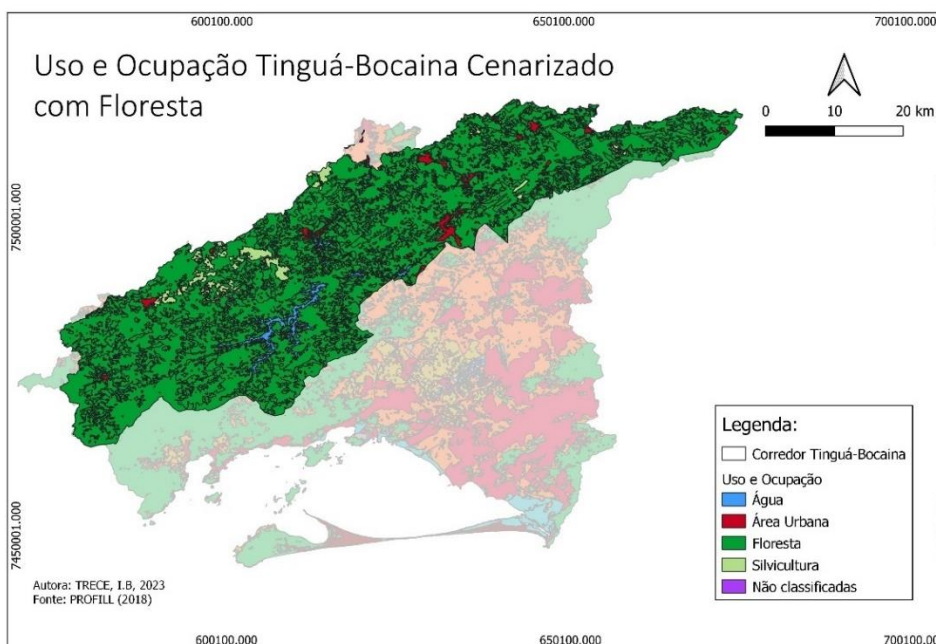
Foram simulados dois cenários com diferentes condições de uso do solo, a fim de estimar o efeito sobre a produção de sedimentos. O cenário atual, considerado a linha base, e o cenário proposto, com alteração da pastagem para floresta, a fim de estimar e comparar os resultados da exportação de sedimentos. O processamento considerou os limites das UHP como áreas representativas para a cenarização (Figuras 7 e 8).

O InVEST trabalhou de acordo com a resolução do arquivo do modelo digital de elevação (MDE), com 12,5m, para atribuir a cada pixel a quantidade de perda anual de solo e a taxa de entrega de sedimentos ao rio. A perda de solo obtida por pixel foi convertida para a perda de solo média por UHP. Assim, foi possível a priorização para investimento em infraestrutura verde nas UHP inseridas no Corredor da biodiversidade Tinguá-Bocaina (Figura 9).

**Figura 7.** Mapa de uso e ocupação atual da área de estudo.  
Fonte: Própria autora. Adaptado do Diagnóstico do Plano Diretor Florestal (COMITÊ GUANDU, 2022).

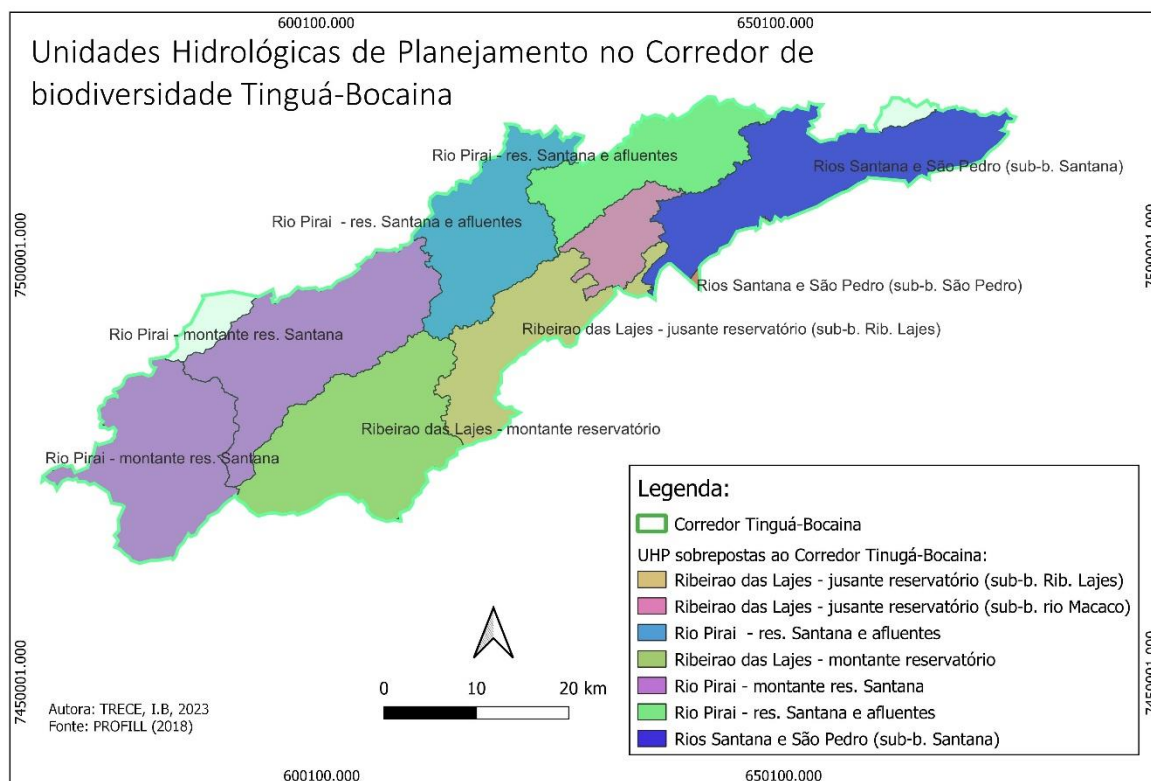


**Figura 8.** Mapa de uso e ocupação com o cenário proposto da área de estudo.  
Fonte: Própria autora.



**Figura 9.** Mapa das UHP inseridas apenas na área de estudo.

Fonte: Própria autora. Adaptado do Diagnóstico do Plano Diretor Florestal (COMITÊ GUANDU, 2022).



### 3.3. Custos da restauração

Para a metodologia da avaliação dos custos dos investimentos em infraestrutura verde, por meio da restauração florestal, foram utilizados os valores disponibilizados pela TNC, por meio da publicação “Restauração da Vegetação Nativa no Brasil: Caracterização de técnicas e estimativas de custo como subsídio a programas e políticas públicas e privadas de restauração em larga escala” (2018).

Essa metodologia levou em conta a quantidade de insumo por bioma e técnica, custo dos insumos à nível local e global, bem como, sendo levado em conta a opinião e coleta de dados de especialistas na área para a formulação desses valores.

Para a precificação foi refletido os valores por cada modalidade de restauração, em que é levado em conta os dois cenários estabelecidos pelo relatório o CAD - condições ambientais desfavoráveis e CAF - condições ambientais favoráveis. Bem como, o tempo de manutenção de cada uma das técnicas.

Tendo em vista a data da publicação, foi realizado o ajuste por meio do Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI). A cesta de bens do Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI) está mais diretamente relacionada aos insumos utilizados na restauração e aos custos de produção, com foco no atacado. Por outro lado, o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) abrange uma cesta de bens mais diversificada e reflete diretamente os preços para o consumidor final.

O IGP-DI, calculado pelo Instituto Brasileiro de Economia (IBRE) da Fundação Getúlio Vargas (FGV), é composto da seguinte forma: 60% é composto pelo Índice de Preços ao Produtor Amplo (IPA), que leva em consideração a produção de bens agropecuários e industriais; 30% é representado pelo Índice de Preços ao Consumidor (IPC), que engloba o setor varejista e serviços de consumo; e os restantes 10% são atribuídos ao Índice Nacional do Custo da Construção (INCC), que reflete os preços no setor da construção civil (FGV, 2014). Portanto, o IGP-DI reflete melhor as variações de preço de insumos agrícolas.

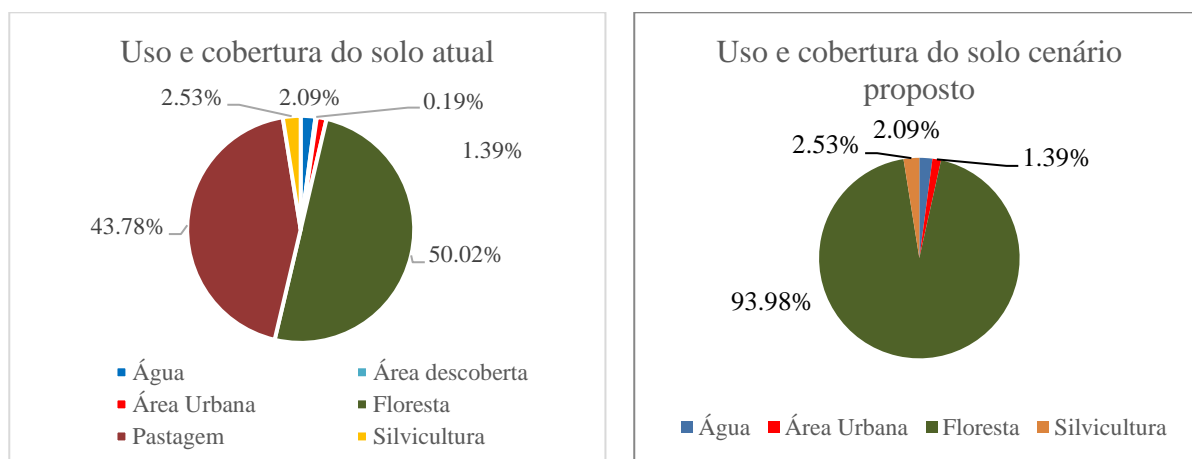
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Avaliação da perda de solo estimada pelo InVEST SDR

O cenário proposto considerou a alteração total das pastagens e áreas descobertas para floresta, alterando 43% e 0,19% respectivamente, totalizando 80.191,7 hectares de área com a alteração do uso para floresta, conforme observado na Figura 10.

**Figura 10.** Uso e cobertura do solo para o cenário atual e o cenário proposto.

Fonte: Própria autora.



A alteração do uso do solo visava apenas avaliar quais UHP teriam melhores resultados comparadas entre si. Todavia, como algumas Unidades Hidrológicas de Planejamento quando sobrepostas ao limite do Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina apresentaram baixa representatividade no tamanho, apresentando valores pouco representativos, os dados foram trabalhados desconsiderando também as UHP a montante de reservatórios, dado que esses lugares se apresentam como locais de deposição de sedimentos pela sua estrutura lagunar, apresentando a proposta de cenários. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Resultados gerias encontrados pela pesquisa.

Fonte: Própria autora.

Cenários	Uso	Área (ha)	Descrição	Resultados
Linha base	Água	3.817,79	Cenário linha base, ano 2019. Representando o uso do solo atual na área	USLE: 5.889.046,82 ton total
	Área descoberta	345,33		UESLE: 61,33 ton/ha
	Área Urbana	2.536,00		Exportação de sedimentos: 249 ton/ha
	Floresta	91.223,24		Retenção: 5.425,3 ton/ha
	Pastagem	79.846,37		
Cenário proposto	Silvicultura	4.619,58		
	Água	3.817,79		UESLE: 928.8891,32 ton total
	Área descoberta	0,0		UESLE: 9,67 ton/ha (-73%)
	Área Urbana	2.536,00	Cenário alterando as áreas descobertas e de pastagem para floresta	Exportação de sedimentos: 92,1 ton/ha
	Floresta	171.414,94		Retenção: 5.755,4 ton/ha
	Pastagem	0,0		
	Silvicultura	4.619,58		

A perda de solo, considerando as 5 UHP, inseridas na RH II, foi de 61,33 ton/ha/ano para o cenário linha base, representando uma suscetibilidade de perda anual de 5.889.046,842 toneladas de solo por erosão. O cenário proposto apresentou 9,68 ton/ha/ano, indicando uma redução de quase 52 ton/ha/ano, cinco vezes mais em relação ao cenário linha base.

Além disso, no cenário proposto a quantidade de retenção de sedimentos apresentou valor de ordem 2,7 vezes superior quando comparados entre si. Este resultado reflete as condições de uso e ocupação do solo, em que, no cenário proposto, 90% da sua cobertura é composta por florestas. Resultado semelhante foi apresentado por Freitas (2018), em que a retenção de sedimentos foi maior do que a erosão superficial do solo na bacia composta predominantemente por matas. Silva (2017) observa que o maior potencial de retenção de sedimentos está associado a áreas de mata nativa, enquanto solo exposto e pastagem resultam em elevadas perdas de solo. A Tabela 5 apresenta os resultados da modelagem para os diferentes cenários.

**Tabela 5.** Resultados dos cenários simulados para estimativa da perda de solo com InVEST SDR por UHP.

Fonte: Própria autora.

UHP	USLE (ton/ha)		Redução (%)
	Cenário atual	Cenário proposto (restauração)	
	USLE (ton/ha)	USLE (ton/ha)	
Rios Santana e São Pedro	112,50	17,34	85%
Ribeirão das Lajes - jusante reservatório (sub-a. Lajes)	42,07	6,15	85%
Rio Pirai - res. Santana e afluentes	34,73	6,24	82%
Ribeirão das Lajes - jusante reservatório (sub-b. Rio Macaco)	45,51	9,31	80%
Rios Santana e São Pedro	4,95	0,19	96%
<b>Total</b>	<b>61,33</b>	<b>9,67</b>	<b>84%</b>

Conforme observado na Tabela 5, as UHP apresentaram uma variação bem próxima, ao comparar os valores atuais com o cenário proposto, em torno de 85%. A sub-bacia do rio Santana e São Pedro foi a que apresentou a maior taxa de redução com 96% em relação ao cenário atual e o proposto.

Todavia, em relação a redução total de perda de solo pela mudança de cenário, avaliando as extensões de cada sub-bacia, as UHP que mais apresentaram redução na perda de solo foram as do Ribeirão das Lajes e Rio Santana, com 19 e 63% respectivamente. Ademais, ao analisar a média de redução de todas as sub-bacias por hectare, o Rio Santana apresentou uma redução de cerca de 95 ton/ha/ano, sendo que a média de perda das 5 UHP analisadas foi de 40 ton/ha/ano.

De acordo com a classificação proposta pela FAO, PNUMA e UNESCO (1980), o cenário linha base apresentou grau moderado, enquanto o cenário proposto foi considerado com grau ligeiro para a maioria das sub-bacias quando se altera o uso para floresta, o que já era esperado. Santos, Griebeler e Oliveira (2010) e Dechen et al. (2015) destacam que solos com cobertura vegetal, além de aumentar a sua permeabilidade, controlam o escoamento e a produção de sedimentos. A Tabela 6 apresenta o grau de erosão para cada UHP.

O cenário proposto apresentou um potencial de redução 61,17% para a perda de solo, sugerindo melhores condições de infiltração de água no solo e controle dos processos erosivos.

O Rio Santana e São Pedro foi a UHP que indicou que as ações de mudança do uso e cobertura dessa região para floresta, alteraria a retenção de sedimentos e, conseqüentemente, a melhoria da qualidade hídrica. Um aspecto a se considerar é que o Rio Santana apresenta o maior tamanho de UHP, correspondendo a mais de 30 mil hectares de área inseridas dentro do corredor, que corresponde a 10% de todo o território da RH II.

Outro ponto a se considerar é a sua representatividade de pastagem nessa UHP que representa quase 44% de toda a área, conforme apresentado na



**Figura 111**, o que explicaria o impacto da mudança do uso para floresta. Checchia (2005) verifica em seu trabalho uma perda de solo mínima nas áreas de floresta nativa e reflorestamento, enquanto as áreas de solo exposto são responsáveis por 62% da perda de solo.

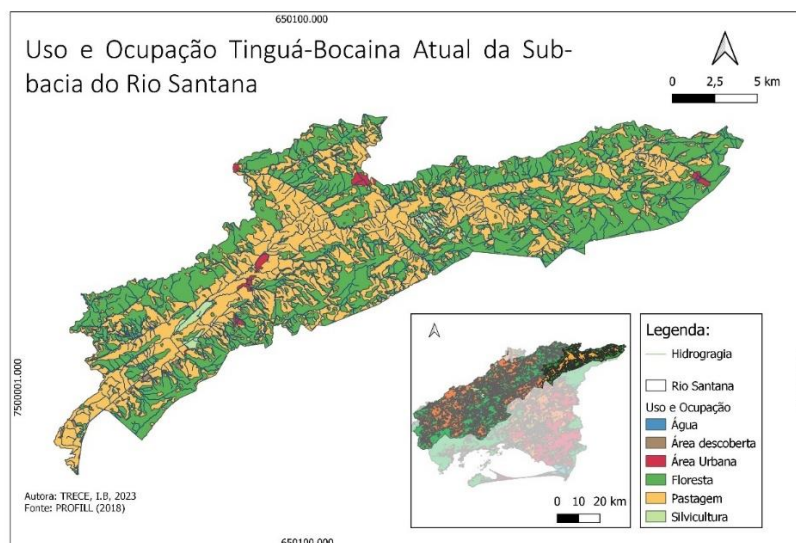
**Tabela 6.** Grau de erosão por UHP.

Fonte: Própria autora.

<b>UHP</b>	<b>Linha Base (ton/ha/ano)</b>	<b>Grau de erosão</b>	<b>Cenário proposto (ton/ha/ano)</b>	<b>Grau de erosão</b>
Rios Santana e São Pedro	112,50	Alto	17,34	Moderado
Ribeirão das Lajes - jusante reservatório	42,07	Moderado	6,15	Ligeiro
Rio Pirai - res. Santana e afluentes	34,73	Moderado	6,24	Ligeiro
Ribeirão das Lajes - jusante reservatório	45,51	Moderado	9,31	Ligeiro
Rios Santana e São Pedro	4,95	Ligeiro	0,20	Ligeiro
<b>Área total</b>	<b>61,33</b>	<b>Moderado</b>	<b>9,67</b>	<b>Ligeiro</b>

**Figura 11.** Mapa sub-bacia do Rio Santana.

Fonte: Própria autora.



O mesmo autor destacou a importância da cobertura florestal na redução dos processos erosivos, em que a perda de solo média para região de estudo é de 541,16 ton/ha/ano, e a perda de solo média da bacia é de 77,77 ton/ha/ano, enquanto a área do Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina apresenta mais de 60 ton/ha/ano atualmente e, se alterada toda sua área para floresta, apresentaria menos de 10 ton/ha/ano, seis vezes menos de perda de solo.

Para a área de estudo, os cenários de restauração levam a redução da perda de solo (84%), aumento de retenção de sedimentos (7%), além da diminuição da exportação de sedimentos (63%). Especificamente, para a UHP Rio Santana, a redução na perda de solo foi de 85%, aumento de retenção de sedimentos em 4%, e diminuição de 42% na exportação de sedimentos. Ou seja, com a alteração do uso da pastagem e solo exposto, seria possível reduzir em mais de 80% a retenção de sedimentos na sub-bacia do Rio Santana, melhorando a qualidade das águas.

#### **4.2. Otimização dos investimentos em infraestrutura verde**

Em relação ao total de áreas a serem restauradas, a análise financeira considerou a UHP do Rio Santana, dada a sua priorização nas ações de restauração anteriormente indicadas. Pela análise, nos limites do Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina, seriam necessários a restauração de 22.955 hectares de área para atingir tal resultado.

Na Tabela 7 é apresentada a compilação das estimativas de custos de restauração da vegetação nativa para as diferentes técnicas no bioma Atlântico (em R\$/ha) ajustado pelo IGP-DI, considerando condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da vegetação nativa (cenário “CAF”) e condições ambientais desfavoráveis ao desenvolvimento da vegetação nativa (cenário “CAD”).

**Tabela 7.** Custos da restauração florestal total para a UHP do Rio Santana.

Fonte: Própria autora.

Técnica de Restauração	Cenário	Valores 2018	Ajustado	Área restaurada	Total
	CAF	R\$ 7.788,00	<b>R\$ 13.389,91</b>	22.955	<b>R\$ 307.363.822,58</b>
Plantio Total (mudas)	CAD	R\$ 21.271,00	<b>R\$ 36.571,23</b>	22.955	R\$ 839.488.427,08
Condução da Regeneração Natural	CAF	R\$ 316,00	<b>R\$ 543,30</b>	22.955	R\$ 12.471.362,09
	CAD	R\$ 2.940,00	<b>R\$ 5.054,74</b>	22.955	R\$ 116.031.027,01
	CAF			22.955	
Regeneração Natural	CAD	R\$ 185,00	<b>R\$ 318,07</b>	22.955	R\$7.301.272,11

A regeneração natural consiste na técnica embasada apenas no isolamento da área degradada. Enquanto a condução da regeneração natural é uma técnica embasada na assistência aos processos naturais de regeneração da vegetação, otimizando processos desejáveis, como o recrutamento, estruturação vertical e horizontal, aumento de diversidade e controlando processos indesejáveis como as formigas e espécies invasoras/superdominantes.

Ao realizar o ajuste de inflação, houve um aumento de 172% entre janeiro de 2018 até junho de 2023 para o índice IGP-DI, podendo estar superestimados.

Os custos para o plantio total, com manutenção de três anos, variaram de 300 a 800 milhões de reais, uma variação que chega a 2,7 vezes quando comparadas com o cenário favorável e o cenário desfavorável.

A condução da regeneração natural, com manutenção de 4,9 anos, apresentou custos que variaram de R\$ 12.471.362,09 a R\$ 116.031.027,01, enquanto a regeneração natural apresentou no resultado desfavorável o valor de R\$7.301.272,11 considerando 5,3 anos de manutenção.

Ressalta-se que, a CEDAE (2023) apresentou como meta a restauração de 10 mil hectares de área no Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina até 2030, correspondendo a quase metade da área do cenário proposto para a mudança.

Deve-se ater a importância da integração de dados espaciais e modelos ecológico-econômicos para a tomada de decisões eficazes em relação à restauração florestal e à gestão de bacias hidrográficas. A utilização dessas ferramentas pode contribuir para uma priorização mais precisa das áreas que devem ser restauradas com base na sua importância para a retenção de sedimentos, bem como para a proteção de mananciais e a promoção da qualidade hídrica.

Outro ponto importante é a relação entre a restauração florestal e a provisão de serviços ecossistêmicos. A restauração florestal pode contribuir significativamente para o aumento da oferta hídrica, além de proporcionar outros benefícios, como a regulação do clima, a melhoria da qualidade do ar e a conservação da biodiversidade.

No entanto, para que esses benefícios sejam alcançados, é importante que a restauração seja realizada de forma estratégica, considerando não apenas a retenção de sedimentos, mas também outros fatores, como a capacidade de estoque de carbono, a viabilidade econômica e a conectividade ecológica, como é o caso da área de estudo.

## 5. CONCLUSÃO

A ferramenta InVEST SDR demonstrou ser eficiente para definição de áreas prioritárias para investimentos em infraestrutura verde, considerando o provimento de serviços ecossistêmicos hidrológicos relacionados à qualidade da água.

Dessa forma, para a área de estudo considerada, o corredor Tinguá-Bocaina, a priorização seria para a UHP do Rio Santana, considerando a conversão de 22.955 hectares de área com pastagem para floresta, resultaria na redução de 85% na taxa da perda de solo anual, com custo variando entre 300 a 800 milhões de reais.

Este estudo apresenta-se como preliminar, sendo possível aprimorar e complementar informações, com maior acuracidade, ou incluindo novos fatores a serem considerados na paisagem. Portanto, os custos da restauração devem ser analisados com cautela, tendo em vista que a análise se baseou em valores médios de dados secundários. Seria possível realizar essa estimativa de investimento considerando aspectos locais, como a situação das áreas a serem restauradas, o emprego de métodos de baixo custo para restauração (além do plantio de mudas), prestadores de serviço e fornecedores locais.

## 6. REPEFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água. Resultados por Estado**. Brasília: ANA, 2010. 72p.

ANA- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Estimativas de evapotranspiração real por sensoriamento remoto no Brasil**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2020. 41 p.: il. 1. Evapotranspiração 2. Sensoriamento Remoto. I. Título. CDU 556.13:528.8(81).

ANDRADE, A. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas** [tese]. Seropédica: Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 1997.

BAI Y. et al. Spatial characteristics between biodiversity and ecosystem services in a humandominated watershed. **Ecological Complexity**, v.8, n.2, p. 177-183, 2011.

BALBINOT, Rafaelo et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas The forest role in the hydrological cycle at hydrological basins. **Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.

BHAGABATI, Nirmal K. et al. Os serviços do ecossistema reforçam a conservação do tigre de Sumatra nos planos de uso da terra. **Conservação Biológica**, v. 169, p. 147-156, 2014.

BRASIL. **Planaveg: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa**. Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Educação. – Brasília, DF: MMA, 2017. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/images/arquivos/florestas/planaveg\\_plano\\_nacional\\_recuperacao\\_vegetacao\\_nativa.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivos/florestas/planaveg_plano_nacional_recuperacao_vegetacao_nativa.pdf) . Acesso em: 22 jun. 23

BREITMAN, K. K. et al. Modelagem Computacional: Teoria, Prática e Exercícios. São Paulo: Editora da Unicamp, 2015.

CAMBRAIA NETO et. al. Impact of climate change on groundwater recharge in a Brazilian Savannah watershed. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 143, n. 3-4, pág. 1425-1436, 2021 (<https://doi.org/10.1007/s00704-020-03477-w>).

CASTRO, S. S. C.; MENDONÇA, E. S. Fenologia de espécies de cerrado sensu stricto na APA Gama-Cabeça-de-Veado, Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 3, p. 481-495, 2004.

CEDAE (Companhia Estadual de Águas e Esgotos). Estações de Tratamento do Guandu e Laranjal/ ETA Guandu. 2018b. Disponível em: [https://cedae.com.br/estacoes\\_tratamento](https://cedae.com.br/estacoes_tratamento). Acesso em: 22 jun. 23

CEDAE- Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro. CEDAE lança programa para recuperar Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina. *In*: CEDAE. Disponível em: <https://cedae.com.br/Noticias/detalhe/cedae-lanca-programa-para-recuperar-corredor-tingua-bocaina/id/2673>. Acesso em: 22 jun. 23.

CHECCHIA, T. et al. **Avaliação de perda de solo por erosão hídrica e estudo da energia na bacia do Rio Caeté, Alfredo Wagner-Santa Catarina**. 2005. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA GUANDU (a). Comitê Guandu (RJ) paga mais de R\$ 100 mil a produtores do PAF em três municípios. 2023. *In*: Comitê Guandu Disponível em:

<https://comiteguandu.org.br/2023/05/02/comite-guandu-rj-paga-mais-de-r-100-mil-a-produtores-do-paf-em-tres-municipios/>. Acesso em: 26 de julho de 2023.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA GUANDU. Composição do Comitê Guandu. *In*: Comitê Guandu. Disponível em: <https://comiteguandu.org.br/composicao/>. Acesso em 27 mai. 23.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA GUANDU. **Plano Diretor Florestal da Região Hidrográfica II - Guandu/RJ - Produto 6 Diagnóstico do Plano Diretor Florestal da Região Hidrográfica II**. Rio de Janeiro: Comitê Guandu, AGEVAP, Consórcio STCP / Mater Natura, 2022. Disponível em: [http://18.229.168.129:8080/publicacoesArquivos/guandu/arq\\_pubMidia\\_Processo\\_258-2020\\_P06.pdf](http://18.229.168.129:8080/publicacoesArquivos/guandu/arq_pubMidia_Processo_258-2020_P06.pdf) . Acesso em: 05 jun. 2023.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA GUANDU. **Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim - Diagnóstico TOMO I**. Rio de Janeiro: Comitê Guandu e Profill Engenharia e Ambiente, 2018. Disponível em: [https://comiteguandu.org.br/wp-content/uploads/2021/10/RP.02-arq\\_pubMidia\\_Processo\\_063-2013\\_P2TOMOI.pdf](https://comiteguandu.org.br/wp-content/uploads/2021/10/RP.02-arq_pubMidia_Processo_063-2013_P2TOMOI.pdf) . Acesso em: 05 jun. 2023.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA GUANDU. Resolução COMITÊ GUANDU-RJ Nº 160, de 27 de maio de 2021 que “Dispõe sobre a criação do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais - Produtores de Água e Floresta”. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> acesso em: 12 fev. 2022.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA GUANDU. Resolução nº 177 de 23 de junho de 2023 que “dispõe sobre a atualização do Plano de Aplicação Plurianual para o período de 2023 a 2026 dos recursos financeiros arrecadados com a cobrança pelo uso da água na Região Hidrográfica II – Guandu”. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/10j3MpOA0cnJPWcN2Xz6BdeRfnSPXDvAU/view>. Acesso em: 05 jul. 2023.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA GUANDU. Sucesso do PAF Sacra Família demonstrado em números pela Mata Atlântica. 2023. *In*: Comitê Guandu. Disponível em: <https://comiteguandu.org.br/2023/05/30/sucesso-do-paf-sacra-familia-demonstrado-em-numeros-pela-mata-atlantica/>. Acesso em: 26 de julho de 2023.

Convention on Biological Diversity (CBD). **Global Biodiversity**. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2020. 212 p. Disponível em: <https://www.cbd.int/gbo5>. Acesso em: 13 abr. 2023.

COSTA, L.F.; FARIAS JÚNIOR, J.E.F.; JOHNSON, M.F. Impactos da estiagem sobre os principais setores usuários de água no Estado do Rio de Janeiro. **Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Florianópolis, SC. 2017.

DECHEN, S. C. F. et al. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 224–233, 2015.

DUARTE G.T., RIBEIRO M.C., PAGLIA A.P., 2016. Ecosystem Services Modeling as a Tool for Defining Priority Areas for Conservation. *PloS ONE* 11(5): e0154573

ELESBON, A. *et al.* Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus - Brasil. **Revista Escola de Minas**, v. 64, n. 3, p. 281–288, 2011.

FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people – *In*: brief. Disponível em: <http://www.fao.org/state-of-forests/pt/>. Acesso em: 08 mai. 2023.

FGV- Fundação Getúlio Vargas. Metodologia IGP-DI. 2014. Disponível em: <https://portalibre.fgv.br/sites/default/files/2020-03/metodologia-igp-di-atualizado-em-maio-2014-edt291014.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2023.

FREITAS, C. K. Avaliação da retenção de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Cunha por meio do modelo InVEST SDR. 2018. 77 f. **Monografia** (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Fundação SOS Mata Atlântica, Instituto Socioambiental, Instituto de Pesquisas Ecológicas, et al. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica. São Paulo: **Fundação SOS Mata Atlântica**, 2018.

GARCÍA-COMENDADOR, Julián et al. Resposta hidrológica pós-fogo e transporte suspenso de sedimentos de uma bacia hidrográfica mediterrânea em terraços. **Processos da superfície terrestre e formas de relevo**, v. 42, n. 14, pág. 2254-2265, 2017.

GAVIRA, Muriel de Oliveira. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. 2003. Tese de Doutorado (Bacharelado em Física). Universidade de São Paulo.

GIROTO, Daiane Barbosa. O clima em sua regulamentação político-econômica: o acordo de Copenhague - COP 15. 2015. 1 CD-ROM. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/139209>. Acesso em 27 mai. 23.

GODOI R.F., RODRIGUES D.B., BORRELI P., OLIVEIRA P.T.S. 2021. High resolution soil erodibility map of Brazil. *Science of the Total Environment* 781, 146673.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Unidades de Relevo, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/15827-unidades-de-relevo.html?=&t=downloads>. Acesso em 27 mai. 23.

ICMBIO- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Guia de Restauração Ecológica para Gestores de Unidades de Conservação. 2021. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cbc/images/stories/Publica%C3%A7%C3%B5es/restaura%C3%A7%C3%A3o/Guia-de-Restauracao-Ecologica\\_digital.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cbc/images/stories/Publica%C3%A7%C3%B5es/restaura%C3%A7%C3%A3o/Guia-de-Restauracao-Ecologica_digital.pdf). Acesso em: Acesso em: 22 jun. 23.

INEA- Instituto Estadual do Ambiente. Conexão Mata Atlântica - Rio de Janeiro: área de abrangência. 2018. Disponível em: <https://inea.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=2a8b5c83f8f94676b1aaa13f601218fd>. Acesso em: 09 fev. 2022.

INEA- Instituto Estadual do Ambiente. Sobre a Restauração Florestal. *In*: INEA. s/a. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/sobre-a-restauracao-florestal/>. Acesso em 27 mai. 23.

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. SOS Mata Atlântica e INPE lançam novos dados do Atlas do bioma. *In*: INPE. São José dos Campos, 2019. Disponível em: [http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=5115](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5115). Acesso em: 2 de julho de 2023.

KAREIVA, Peter (Org.). **Capital natural: teoria e prática do mapeamento de serviços ecossistêmicos**. Oxford University Press, 2011.



LUEDELING, Eike et al. Potencial de sequestro de carbono de sistemas agroflorestais na África. **Potencial de sequestro de carbono de sistemas agroflorestais: oportunidades e desafios**, p. 61-83, 2011.

MACHADO, R. C.; MARCHETTI, F. Modelagem Computacional de Sistemas. São Paulo: Érica, 2017.

MELLO C.R., VIOLA M.R., BESKOW S., NORTON L.D., 2013. Multivariate regression models for rainfall erosivity in Brazil. *Geoderma* 202, 88–102.

MOSTER, C. Áreas prioritárias para serviços ecossistêmicos hidrológicos no Sistema Cantareira. 2018. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Ecologia de Agroecossistemas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. doi:10.11606/T.91.2018.tde-03102018-181531. Acesso em: 2023-07-31.

ONU, Organização das Nações Unidas. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Brasil, 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> acesso em: 12 fev. 2022.

OpenAI. Pergunta "ChatGPT sintetize e ajude com as análises dos parágrafos por meio de inteligência artificial de linguagem natural.". Disponível em: <https://openai.com/blog/chat-gpt-3-launch/>. Acesso em: 22 jun. 23.

Regenera América. O Corredor de biodiversidade Tinguá-Bocaina. *In*. Mercado Livre. Brasil. Disponível em: <https://regeneraamerica.com/pt/projects/tingua-bocaina>. Acesso em: 05 jun. 2023.

RODRIGUES, G. et al. Estimativa preliminar da exportação de sedimentos na 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: 13 abr. 2023

SAAD, S. I. et al. Avaliação do modelo Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs para o sistema Cantareira: módulos de hidrologia e de perda de sedimentos. *In*: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011. **Anais** [...]. Maceió, AL.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. DE. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 115–123, 2010.

SHARP, R. et al. InVEST +VERSION+ Users Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota: The Nature Conservancy and World Wildlife Fund, 2016.

SIEGEL, Sidney. Nonparametric statistics for behavioral sciences. Tokyo: Kōgakusha; McGraw-Hill, 1956.

SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento). Série Histórica 2018. Disponível em: <http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 13 abr. 2023

SOUZA, Eduardo F. et al. Recursos Hídricos no Cerrado numa Perspectiva de Preservação e Recuperação das Nascentes. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60455159/artigo---recarga-e-sua-importancia-para-as-aguas-subterraneas-e-para-a-sustentabilidade-da-agricultura-na-regiao-do-cerrado>. Acesso em: 13 abr. 2023.



TNC- THE NATURE CONSERVANCY. **Modelagem para estimativas de intervenções de Programas de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) – Mantiqueira**. Brasil, 2021. 29 p.

TNC- THE NATURE CONSERVANCY. **Restauração da Vegetação Nativa no Brasil**. Disponível em: <https://www.tnc.org.br/content/dam/tnc/nature/en/documents/brasil/restauracao-da-vegetacao-nativa-no-brasil.pdf>. Acesso em 27 mai. 23.

TORRES et al. A decision-support framework for integrated watershed management: The Bago River Basin case study in the Philippines. **Environmental Management**, 60(4), 599-613. 2017.

TRECE, I. B.; MOREIRA, C. G.; Claudia Moster; SILVA SA, L. M. Análise da umidade do solo sob diferentes tipos de cobertura como um indicador de serviço ecossistêmico hidrológico. *In*: Giovanni Seabra. (Org.). Terra - Vulnerabilidade e Riscos Ecológicos. 1ed.Ituiutaba: Barlavento, 2021, v. 3, p. 1104-1113.

TSONKOVA, P.; QUINKENSTEINA, A.; BÖHMA, C.; FREESEA, D.; SCHALLER, E. **Ecosystem services assessment tool for agroforestry (ESAT-A): An approach to assess selected ecosystem services provided by alley cropping systems**. *Ecological Indicators*, v. 45, p. 285–299, 2014.

TUNDISI, José Galizia. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. *Ciência e Cultura*, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.