

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
FLORESTAIS

**MODELAGEM E ESPACIALIZAÇÃO DO VOLUME DE MADEIRA,  
CONSIDERANDO VARIÁVEIS AMBIENTAIS E GEOESTATÍSTICA,  
EM VEGETAÇÃO DE CAATINGA, NORDESTE DO BRASIL.**

**THAINE TEIXEIRA SILVA**

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA – BRASIL  
FEVEREIRO – 2022

**THAINE TEIXEIRA SILVA**

**MODELAGEM E ESPACIALIZAÇÃO DO VOLUME DE MADEIRA,  
CONSIDERANDO VARIÁVEIS AMBIENTAIS E GEOESTATÍSTICA, EM  
VEGETAÇÃO DE CAATINGA, NORDESTE DO BRASIL.**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

**Orientador: Prof. Dr. Robson Borges de Lima (UEAP)**

**Coorientadora: Cinthia Pereira de Oliveira**

VITÓRIA DA CONQUISTA

BAHIA – BRASIL

FEVEREIRO – 2022

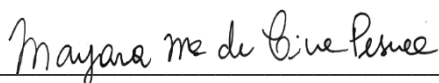
**Thaine Teixeira Silva**

**MODELAGEM E ESPACIALIZAÇÃO DO VOLUME DE MADEIRA,  
CONSIDERANDO VARIÁVEIS AMBIENTAIS E GEOESTATÍSTICA, EM  
VEGETAÇÃO DE CAATINGA, NORDESTE DO BRASIL.**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2022.

Comissão Examinadora:



---

Prof. Mayara Maria de Lima Pessoa, D.Sc., UEAP



---

Liniker Fernandes da Silva, D.Sc, UESB



---

Prof<sup>a</sup>. Cinthia Pereira de Oliveira (D.Sc.; Ciências Florestais) – UEAP - Coorientadora



---

Prof. Robson Borges de Lima (D.Sc.; Ciências Florestais) – UEAP - Orientador

A minha avó dona Galdina Maria, meu avô João  
e meu primo/irmão Luan (*in memoriam*)

***Dedico***

## AGRADECIMENTOS

Eu não gosto de clichês. Mas quando se alcança momentos como este, é impossível não sentir gratidão pelo processo e pelas pessoas que compartilharam essa caminhada.

Eu agradeço pelo apoio incondicional e sincero da minha família, minha mãe Wilma, irmã Thayla, avôs João e Galdina Maria (*in memoriam*), tia Marizete, obrigada por dá sentido ao meu caminhar, por motivar cada passo. Melhor! Obrigada universo, pelo privilégio de tê-los ao meu lado e trazer comigo um pouco deles. Espero sempre os honrar!

Ao meu namorado Herbert, obrigada por me trazer de volta nos dias difíceis, por enxergar mais em mim do que eu mesma, por ter fé e sempre me colocar com tanto potencial. Obrigada por somar alegrias e dividir os fardos e deixar a vida mais leve.

A Geovana Paim, obriga pelo privilégio de chama-la de irmã. Luana Moreira o tempo fala por nos, 20 anos se reconhecendo. As/Aos minhas/ minhas queridas (os) Geovana Fonseca, Natali Oliveira, Natália Oliveira, Jerfferson Soares, Israel Batista, David Brito, Luciano Rebouças, Lucas Santos. Obrigada a minha paraíbana predileta Luana Menezes, você é um dos melhores presentes desses 2 anos. Os meus queridos Lucas Vellame e Josenita Barreto. Obrigada! Vocês são luz na minha vida.

Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais (PPGCIFLOR) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Aos meus queridos vizinhos da minha cidade natal Laje-BA, por todo carinho e preocupação.

Agradeço ao suporte solícito e tranquilidade do meu orientador o Prof<sup>o</sup>. Robson Borges de Lima e da minha coorientadora Cinthia Pereira de Oliveira, ao Prof<sup>o</sup>. Anderson por toda disponibilidade em contribuir. Em especial as contribuições pontuais do doutorando Rafael Lucas.

A minha parceira dessa jornada, obrigada Héveli Kalini por ser meu Norte, por trazer esperança quando a pesquisa se mostrava perdida, pela lucidez e competência e principalmente pela companhia, com certeza foi mais fácil com você.

Essa pesquisa se tornou viável pela contribuição da Rede de Manejo Florestal da Caatinga, via parceira com laboratório de Ecologia e Proteção Florestal coordenado pelo Prof<sup>o</sup> Alessandro de Paula e laboratório de Solos e Biomassa Florestal Prof.<sup>a</sup> Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia. Ao grupo FlorestPlots, ao Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA), com intermédio Prof<sup>o</sup> Dalton

Longue Júnior e Profº Alessandro de Paula, em especial ao especialista em Meio Ambiente e Recurso Hídricos Lucas Borges Menezes que realizou todo processo de disponibilização dos dados.

A todos profissionais da educação que contribuíram no meu crescimento acadêmico e pessoal, admiração profunda por todos!

A UESB e representação discente junto colegiada da PPGCIFLOR momentos de muito aprendizado foram compartilhados. A secretária da PPGCIFLOR, minha querida Fabrícia por toda disponibilidade e atenção.

A CAPES pela concessão da bolsa, o que tornou todo esse processo mais tranquilo.

Gratidão!

## RESUMO

SILVA, Thaine Teixeira, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, fevereiro de 2022. **Espacialização do volume de madeira para vegetação de Caatinga no estado da bahia, brasil.** Orientador: Robson Borges de Lima. Coorientadora: Cinthia Pereira de Oliveira.

A vegetação de Caatinga é a única formação exclusivamente brasileira e, apesar de sua importância, está entre os ecossistemas menos estudados em relação a quantificação e espacialização dos estoques volumétricos de madeira, principalmente porque, na maioria das vezes, depende-se de dados destrutivos da vegetação. Portanto, este estudo visa quantificar e analisar a distribuição espacial do volume de madeira em vegetação de Caatinga no estado da Bahia, em função de variáveis bioclimáticas, de cobertura do solo e heterogeneidade do habitat. Para a quantificação do volume foram empregadas técnicas da regressão linear múltipla, associada à espacialização dessa variável, com auxílio de ferramentas da geoestatística. Os dados volumétricos de campo foram obtidos à partir de inventários florestais com 856 parcelas, provenientes de 40 fragmentos. As variáveis ambientais foram adquiridas do WolrdClim e EarthEnv e foram associados a um conjunto de variáveis explicativas, em cada local estudado. O modelo desenvolvido apresentou ajuste razoável para o volume  $m^3/ha$  com  $R^2$  de 0,54 e RSME de 10,9  $m^3/ha$ . A krigagem ordinária dos resíduos demonstrou baixas estimativas de erro nos locais não amostrados, e equilíbrio nas sub e superestimativas do modelo. A krigagem com regressão proporcionou um maior detalhamento do mapa global para o estoque de volume de madeira, apresentando as estimativas de volume que variaram de 0,01 a 109  $m^3/ha$ . A predição volumétrica a partir de dados de campo e variáveis ambientais é uma abordagem promissora para a vegetação de Caatinga. Esta pesquisa fundamenta a compreensão a respeito dos fatores que estruturam e distribuem o estoque volumétrico na vegetação de Caatinga no Estado da Bahia.

**Palavras-chave:** Florestas Tropicais Sazonalmente Secas, krigagem com regressão, modelagem geoestatística.

## ABSTRACT

SILVA, Thaine Teixeira, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, February de 2022. **Spatialization of wood volume for Caatinga vegetation in the state of Bahia, Brazil.** Adviser Orientador: Robson Borges de Lima. Co-Adviser: Cínthia Pereira de Oliveira.

The Caatinga vegetation is the only exclusively Brazilian formation, and despite its importance, they are among the least studied ecosystems in relation to the quantification and spatialization of volumetric wood stocks, mainly because, in most cases, it depends on destructive data from the vegetation. Therefore, this study aims to quantify and analyze the spatial distribution of wood volume in Caatinga vegetation in the state of Bahia, as a function of bioclimatic variables, soil cover and habitat heterogeneity. To quantify the volume, multiple linear regression techniques were used, associated with the spatialization of this variable with the aid of geostatistical tools. Field volumetric data were obtained from forest inventories with 856 plots, from 40 fragments. Environmental variables were acquired from WorldClim and EarthEnv and were associated with a set of explanatory variables at each location. The developed model presented a reasonable fit for the volume  $\text{m}^3/\text{ha}$  with  $R^2$  of 0.54 and RSME of  $10.9 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Ordinary residuals kriging showed low error estimates at unsampled locations, and balance in the under and overestimates of the model. The regression kriging provided a greater detail of the global map for the wood volume stock, presenting the volume estimates that varied from 0.01 to  $109 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Volumetric prediction from field data and environmental variables is a promising approach for Caatinga vegetation. This research supports the understanding of the factors that structure and distribute the volumetric stock in the Caatinga vegetation in the State of Bahia.

**Keywords:** Seasonally Dry Tropical Forests, regression kriging, geostatistical modeling



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS .....	10
2.1. Objetivo geral .....	10
2.2. Objetivos específicos .....	10
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	11
3.2. Exploração de madeira na Caatinga .....	13
3.3. Volume de madeira .....	14
3.4. Geoestatística .....	16
3.4.1. Análise do variograma .....	17
3.4.2. Características da Dependência Espacial.....	19
3.4.3. Krigagem com regressão .....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1. Caracterização da área de estudo .....	21
4.2. Obtenção da base de dados .....	22
4.3. Estimativa do volume .....	25
4.4. Aquisição e pré-processamento de variáveis ambientais.....	26
4.5. Modelagem estatística .....	29
4.6. Modelagem geoestatística .....	30
4.6.2. Krigagem com regressão.....	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1. Correlação entre o volume e as variáveis selecionadas.....	32
5.2. Regressão Linear Múltipla.....	34
5.3 Krigagem Ordinária .....	37
5.4. Espacialização do modelo de regressão .....	44
6. CONCLUSÕES .....	6
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	7

## INTRODUÇÃO

A associação de variáveis que coordena o comportamento da vegetação, como; bioclimáticas, fatores bióticos e ecológicos podem responder questões importantes sobre o estrutura e distribuição de uma variável, como o volume de madeira, mesmo em ambientes que mostrem uma alta variação nas tipologias, relevo e solo.

As formações florestais sazonalmente secas da Caatinga, apresentam forte influência climática, sendo um importante fator que condiciona a dinâmica e produtividade da vegetação (ARAÚJO; ALBUQUERQUE e CASTRO, 2007). Devido à ocorrência de chuvas irregulares e limitadas, a vegetação é adaptada a grandes períodos de estiagem, sendo espaçada e dominada por pequenas árvores e arbustos que raramente alcançam 20 metros de altura (PRADO et al., 2003; FERNANDES e QUEIROZ, 2018).

A região semiárida do Brasil apresenta uma grande dependência econômica dos recursos florestais extraídos da Caatinga, sendo essa vegetação principal fornecedora de produtos não madeireiros e madeireiros como a lenha, carvão, estacas e mourões (PAES et al., 2013; MEDEIROS NETO et al., 2014).

O aumento populacional na região proporcionou o surgimento de muitas indústrias que dependem da lenha para produção de energia, como as fábricas ceramistas, gesseiras e de panificação, as quais contribuem significativamente para o aumento das taxas de desmatamento da vegetação lenhosa da Caatinga (De SOUZA SANTOS et al., 2017). Não menos importante, diferentes formas de uso da terra como a agricultura e pastagem contribuem substancialmente para diminuição nos estoques de biomassa lenhosa e sobretudo na redução do volume de madeira (SALAZAR et al., 2021).

Como resultado, na prática, ocorrem potenciais reduções da biodiversidade, na degradação dos solos, comprometimento dos sistemas produtivos e recursos hídricos, além da fragmentação e desertificação (SENA, 2011; ICMBIO, 2014). Muito embora a Caatinga apresente características tão particulares que a torna uma formação vegetal exclusiva do Brasil, apenas pouco mais de 2% do seu território pertencente a unidades de conservação de proteção integral. A falta de proteção dos recursos associa-se a

escassez de conhecimentos científicos para tais áreas, principalmente quando se filtra prestação de serviços ambientais, planos de manejo e monitoramento para o estado da Bahia (MMA, 2020).

Em um contexto mais amplo, ainda existem lacunas sobre como mitigar os principais problemas ambientais associados a vegetação de Caatinga, principalmente no que tange ao elevado grau de degradação ambiental (motivado principalmente pelo desmatamento) e a escassez de estudos de quantificação e distribuição espacial do estoque madeireiro da vegetação. Apesar de sua importância, a vegetação da Caatinga é um dos ecossistemas menos estudados em relação aos estoques volumétricos de madeira e um dos que têm sofrido maior degradação pelo uso desordenado e predatório nos últimos 400 anos (ARAÚJO, 2007).

Segundo dados do IBGE (2022) o estado da Bahia tem sua maior porção sobre o domínio da vegetação de Caatinga. Com 54% do território subdividido em formações de savana estépica, florestas estacionais entrelaçadas por áreas de contato e pequenas porções de savana e vegetação pioneira. A falta de informações para esses ambientes no Estado da Bahia vinculada a fragilidade social e econômica da população, promove uma alta vulnerabilidade da Caatinga. São poucos os trabalhos que investigam a flora da Caatinga e quando focados para a distribuição volumétrica são praticamente inexistentes.

Neste sentido, existe um motivo pelo qual torna-se necessário uma análise acurada da distribuição espacial do estoque madeireiro da vegetação de Caatinga, principalmente para nortear planos de ações que visem a sustentabilidade ambiental no Estado da Bahia. Buscar métodos eficientes de quantificação do volume de madeira é, portanto, primordial para a avaliação do potencial produtivo, auxiliando em tomadas de decisões mais coerentes, não somente sobre o uso, mas também para promoção do desenvolvimento da floresta (SFB, 2012; MASOTA, 2014; RIBEIRO et al., 2014).

A modelagem geoestatística é uma alternativa interessante para este tipo de problema, principalmente porque é capaz de prever uma variável de interesse em locais não amostrados, e gerar o mapeamento de sua distribuição espacial empregando informações interpoladas de uma área amostrada (CAMARGO, 1998). Métodos que fornecem informações confiáveis a baixo custo, são de suma

importância no monitoramento florestal.

Conhecer distribuição espacial do volume de madeira da vegetação de Caatinga é necessário para manutenção desse ecossistema. Não menos importante, relacionar os estoques de volume com variáveis ambientais além de pioneiro para este ambiente, pode trazer resultados preliminares significativos de como o clima, o relevo e outras características biofísicas do local contribuem para os estoques de madeira.

Desta maneira, parte-se da hipótese de que o volume de madeira da vegetação de Caatinga é uma variável que apresenta correlação com covariáveis ambientais, que podem influenciar diretamente nos seus valores máximos e mínimos, bem como na distribuição, comportamento e dependência espacial. Portanto, este estudo busca responder a seguinte pergunta: Quais variáveis ambientais potencialmente governam a distribuição espacial dos estoques de volume de madeira em vegetação de Caatinga na Bahia?

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo geral**

Quantificar e espacializar estoque de volumétrico de madeira para a vegetação de Caatinga no estado da Bahia, utilizando dados de campos, variáveis bioclimáticas, de cobertura do solo e heterogeneidade do habitat empregando técnicas da regressão linear múltipla, associada a espacialização dessa variável com auxílio de ferramentas da geoestatística.

### **Objetivos específicos**

- Avaliar a correlação entre os valores de volume obtidos através dos inventários com as variáveis bioclimáticas, de cobertura do solo e heterogeneidade do habitat;
- Testar diferentes modelos de regressão linear múltipla para a modelagem do volume de madeira para a vegetação de Caatinga;
- Validar o melhor modelo para predição do volume;
- Analisar o comportamento espacial da volumetria resultante do modelo gerado;
- Gerar mapas da variável volume para toda área da Caatinga que compreende o estado da Bahia, utilizando a Krigagem Ordinária dos resíduos e Krigagem

com regressão.

## REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1. Vegetação de Caatinga

A vegetação de Caatinga é um tipo de floresta tropical seca que está diretamente condicionada pelas ações do clima, solo e topografia e são marcadamente influenciadas pela sazonalidade pluviométrica e períodos de seca na maior parte do ano (FERNANDES e QUEIROZ, 2018). A Caatinga apresenta-se como a maior e área contínua de Florestas e Arbustos Tropicais Sazonalmente Secos no Brasil, cobrindo aproximadamente 10% do território nacional (correspondendo por uma área de aproximadamente 844.453 km<sup>2</sup>). Distribui-se na região Nordeste (exceto o estado Maranhão) e norte de Minas Gerais (IBGE, 2019). Sobre nas sub-regiões; agreste, a área de transição do Leste para as florestas atlânticas, e o sertão conhecido como “polígono da seca” (CANTALICE, 2009)

Inserida no semiárido do Brasil, dispõe de índices pluviométricos irregulares e baixos que não ultrapassa 800 mm, com os períodos chuvosos mais curtos (3 a 5 meses) e secos ou de estiagem mais prolongados (7 a 9 meses). As temperaturas anuais variam entre 25° e 30°C (SENA, 2011; SFB, 2019).

Associado a essas condições climáticas, a Caatinga exhibe uma vasta variedade nos tipos de solos, como; Latossolo, Argissolo, Planossolo, Luvisolo e Neossolo, ocorrendo em uma extensão significativa. Em baixas proporções encontra-se os Nitossolos, Chernossolos, Cambissolo, Vertissolo e Plintossolo (MARQUES et al., 2014).

O revelo é composto por áreas de planícies, cobertas por uma camada de solo bastante profunda e com afloramentos rochosos ocasionais. Os planaltos apresentam solos gerados a partir da decomposição do arenito, são pobres nutricionalmente e apresentam alto teor de acidez. Afloramentos rochosos é uma característica comum das áreas mais altas na Caatinga (ALVES et al., 2009).

A combinação destas características edafoclimáticas, geram uma diversidade de tipologias e alta biodiversidade endêmica. A mais presente é a Savana Estépica (63,30%), seguido de Florestas Estacionais Deciduais (8,32%) e Semideciduais (2,13%), Savanas (1,61%) e pequenas áreas de contato e formações pioneiras (0,4%)

(IBGE, 2019). Com ocorrência mínima de 3.150 espécies distribuídas em 950 gêneros e 152 famílias de angiospermas, sendo que cerca de 23% são endêmicas, o que converte a Caatinga como maior núcleo de riqueza de espécies dentre das FATSS do Novo Mundo (FERNANDES e QUEIROZ, 2018; IBGE, 2019).

Com tais variações na tipologia, a vegetação dispõe de uma alta diversidade fisionômica, o porte das plantas pode atingir desde formações arbustivas a florestais. Composta por plantas hiperxerófila com trechos de floresta caducifólia, adaptadas a ambientes áridos. As plantas lenhosas como árvores, arbustos, e algumas herbáceas, tipo lianas e ervas são relativamente baixas, e geralmente perdem as folhas para enfrentar os períodos de estiagem (FERNANDES e QUEIROZ, 2018).

A vegetação xerófila, representadas por cactos suculentos, árvores tipo crassuláceas e arbustivas, se adaptam a severas secas, constituída de mecanismos que lhes permitem realizar o processo de fotossíntese de forma eficaz para sua sobrevivência (FERNANDES e QUEIROZ, 2018; SÁNCHEZ et al., 2018).

O clima estacional, no qual promove a sazonalidade climática é um fator que promove estresse, e apresenta influência direta na dinâmica da vegetação da Caatinga (ARAÚJO; ALBUQUERQUE e CASTRO, 2007). Tal dinâmica vegetativa interfere na rentabilidade da população alocada nessas áreas, logo que, regiões semiáridas geralmente se destaca pela alta densidade populacional e intenso uso dos recursos florestais (APNE, 2015).

Celebrada como formação vegetal exclusivamente brasileira, a Caatinga é inúmeras vezes negligenciada. A falta de conhecimento das florestas, promove uma visão generalista de inutilidade da vegetação, o que se tornou fator limitante para o desenvolvimento da região (GARIGLIO et al., 2010). Contudo, a vegetação tem papel fundamental na economia do Nordeste, como fornecedora de produtos madeireiros (lenha, carvão, estacas e mourões) e não madeireiros (frutos, mel, óleos, ceras, taninos, látex, gomas, plantas ornamentais e produtoras de fibras) (IBAMA, 2009).

A Caatinga apresenta alta vulnerabilidade. Cerca de aproximadamente 43% da vegetação original foi suprimida em decorrência de desmatamento, caças, queimadas, e utilização desordenada dos recursos da vegetativos. (SENA, 2011; ICMBIO, 2014). A falta de proteção governamental também aumenta a fragilidade sob a vegetação, cerca de 9 % da área pertence a unidade de conservação, com apenas 2,4% em

unidades de proteção integral (MMA, 2020).

Ações antrópicas conduz a uma fragmentação, e como consequência perda de biodiversidade, degradação dos solos e os recursos hídricos, de forma mais grave causando a desertificação. A desertificação é um problema de alto grau de degradação ambiental afetando extensas áreas na maioria dos estados que compreende a região Nordeste (SENA, 2011; ICMBIO, 2014).

Nessa perspectiva de avanços e tentativas de redução de danos, o manejo florestal adequado surge como uma ferramenta necessária na proteção ambiental da Caatinga. Com o objetivo de abastecer de forma sustentada o mercado consumidor de produtos florestais, ofertando de forma legal, lenha e carvão necessário ao funcionamento de diversas atividades industriais e comerciais no Nordeste (SANTOS et al., 2017).

### **3.2. Exploração de madeira na Caatinga**

Com o aumento no preço do petróleo na década de 70, o Brasil iniciou um grande incentivo a utilização de produtos de origem não petrolífera. No Nordeste (NE), tal situação teve impacto direto nas indústrias de cerâmica e cimento, em contraponto, ocasionou um aumento significativo das taxas de desmatamento da vegetação nativa, em específico de Caatinga (MMA, 2018).

Os recursos florestais advindos da Caatinga são empregados para vários fins, subdivididas em dois centros; demandas rurais e industrial/comercial. Com a maioria da sua população da região localizadas em zona rural, levantamentos do MMA (2018) apontam que 68% dos domicílios rurais utilizam lenha como fonte energética (cozimento, aquecimento de água). Em média é utilizado aproximadamente, 0,5 m<sup>3</sup> a cada dez dias nestas residências. (CUNHA e BRANQUINHO NUNES, 2008; RIEGELHAUPT e PAREYN, 2010; GIODA, 2019).

O setor industrial e comercial abrange empreendimentos de pequeno porte, como; produção de cerâmica artesanal, olarias, na construção civil, fabricação de móveis e produtos manufaturados, além de alimentar fornos de padarias e pizzarias (GOMES et al., 2007; CUNHA e BRANQUINHO NUNES, 2008; GIODA, 2019). Segundo dados do MMA (2018), o consumo total de lenha para o NE foi estimado em 63,9 milhões de estéreos (st) por ano, sendo 31,5 milhões apenas para suprir os

setores industrial e comercial.

Quando observado a origem da lenha consumida no NE, o extrativista tem maior destaque (GIODA, 2019). A região Sul produziu  $3,4 \times 10^7 \text{ m}^3$  de lenha proveniente da silvicultura, o que representa 64% da produção nacional, enquanto a região Nordeste, com  $1,5 \times 10^7 \text{ m}^3$ , foi a maior produtora de lenha do extrativismo vegetal o que corresponde a 62% do total consumido na região (MMA, 2018).

Tal situação está relacionada com a baixa renda per capita da população, onde a lenha tem sido extraída de forma inadequada afetando diretamente a sustentabilidade dos ecossistemas (TRAVASSOS e SOUZA, 2014; NDAGIJIMANA et al., 2015). Os recursos madeireiros de florestas nativas, obedece a um senso comum de infinitude, no entanto, a exploração descontrolada resultou no desmatamento, na degradação do solo, na alteração do regime das chuvas e na desertificação (CARDOSO, 2012).

Neste quadro, a Caatinga é uma das formações vegetais brasileiras que mais sofrem com a degradação ambiental. A elevada dependência de lenha na região, promove alto consumo (SILVA et al., 2008; SANTOS e GOMES, 2009). Em torno de 80% da lenha e do carvão obtidos no NE advém da Caatinga (MMA, 2018). A falta de critérios técnicos na exploração da lenha, o desmatamento ilegal, o monitoramento insuficiente e a falta de fiscalização têm acelerado a destruição das florestas, do solo e dos ecossistemas (TRAVASSOS e SOUZA, 2014; NDAGIJIMANA et al., 2015).

A exploração ilegal e desordenada de lenha, associada a conversão de áreas para pastagens e agricultura, resulta em uma redução de 50% da vegetação de Caatinga (MMA, 2018). A vegetação nativa retirada, é em torno de  $1.150 \text{ m}^3/\text{ano}$ , correspondendo a 500 mil hectares da Caatinga, sendo que, 54,7% obtida pelo corte e catada corresponde a 45,3% (SANTOS e GOMES, 2009; ARAÚJO, 2011).

Uma forma de conter o desmatamento é mediante o manejo florestal. Estudos mostram que o desmatamento tem sido reduzido quando há um aumento da fiscalização, de planos de manejo e programas de combate ao desmatamento (NDAGIJIMANA et al., 2015).

### **3.3. Volume de madeira**

A elaboração e execução de um plano de manejo florestal eficiente perpassa



pela estimativa do volume de madeira. Dentro da mensuração florestal, a predição do volume norteia as decisões e direciona o potencial produtivo da floresta (MASOTA, 2014; RIBEIRO et al., 2014).

Na prática a quantificação do volume pode ser realizada via vários métodos, obtendo o volume total ou comercial, com ou sem casca, e por sólido ou empilhado. De acordo com Batista et al. (2014) existe duas maneiras de determinação direta do volume do fuste das árvores; a medição indireta que tem em evidência os métodos de deslocamento da água (xilômetro) e do empuxo, e cubagem rigorosa que realiza a mensuração de diversas seções ao longo do tronco.

A cubagem rigorosa que consiste no seccionamento do fuste de forma a obter os diâmetros ou a circunferência e o comprimento de cada seção em posições predefinidas do fuste, sendo a abordagem mais usual (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009). Uma vez obtidas amostras destrutivas, a relação empírica entre as variáveis dependentes (volume) e independentes como diâmetro a altura do peito (DAP) e altura do fuste das árvores, pode ser alcançada de diversas maneiras, dentre os principais está o método analítico (BATISTA et al., 2014).

O método analítico, envolve o uso de modelos matemáticos funcionais, ajustados por meio de regressão linear, não linear, técnica dos mínimos quadrados, método matricial e equações normais (BATISTA et al., 2014). Os modelos volumétricos mais utilizados são, os métodos de Huber, Newton, Smalian. (LOETSCH et al., 1973; MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Dentro da ciência florestal a obtenção de informações importantes como volume e biomassa, ainda estarem associadas a métodos destrutivos de predição, que podem ser, na maioria das vezes caros e onerosos, é uma questão a ser resolvida. A busca por outras rotas de estimativas está sendo bastante pesquisadas (REZENDE et al., 2006; BATISTA et al., 2014).

É importante considerar também, que o desenvolvimento de outros métodos de estimativas do volume, possibilita modelos locais com maior acurácia. Quando se refere principalmente a vegetação nativa, existe uma grande variedade de formações fisionômicas, condicionadas por inúmeros fatores, como; condições climáticas, solo, topografia e genética das espécies arbóreas (ROLIM et al., 2006; VALENTE et al., 2011).

Nas últimas duas décadas, as imagens de sensoriamento remoto se tornaram uma alternativa para estimativa de volume na vegetação natural (MENG et al., 2009; VIANA et al., 2012; ALMEIDA et al., 2014; PONZONI et al., 2015). Os dados espectrais podem ser associados aos dados obtidos a partir das medições de campo, permitindo a aplicação de métodos como regressão linear, vizinho mais próximo e rede neural (PALMER et al., 2009; CASTILLO-SANTIAGO et al., 2010; GÓMEZ et al., 2012; MIGUEL et al., 2015).

Junto com esses métodos, técnicas geoestatísticas têm sido usadas para explorar a variabilidade espacial da estrutura da vegetação natural mapeando e desenvolvendo mapas de atributos florestais específicos do local (DESTAN et al., 2013).

Alguns estudos combinaram modelos espaciais com dados de sensoriamento remoto para melhorar a geoestatística estimativas usando índices espectrais como variáveis secundárias em técnicas como co-krigagem, krigagem e krigagem com regressão (VIANA et al., 2012; CASTILLO-SANTIAGO et al., 2013; GALEANA-PIZAÑA et al., 2014; SCOLFORO et al., 2015).

### **3.4. Geoestatística**

Utilizando dados de mineração, Daniel G Krige (1951), verificou a correlação entre as variáveis e a distância dos pontos amostrados, concluindo a existência de autocorrelação espacial. Matheron na década de 60, melhorou as estimativas de ocorrência de minérios com dados auto correlacionados, a partir da teoria de variáveis regionalizadas.

Estas variáveis apresentam características casuais e estruturadas. Seguindo uma função de probabilidade podem adotar localmente qualquer valor, e globalmente possuem uma estruturação que pode ser tratada por uma função espacial (JOURNEL e HUIJBREGTS, 1975; LIMA, 2006).

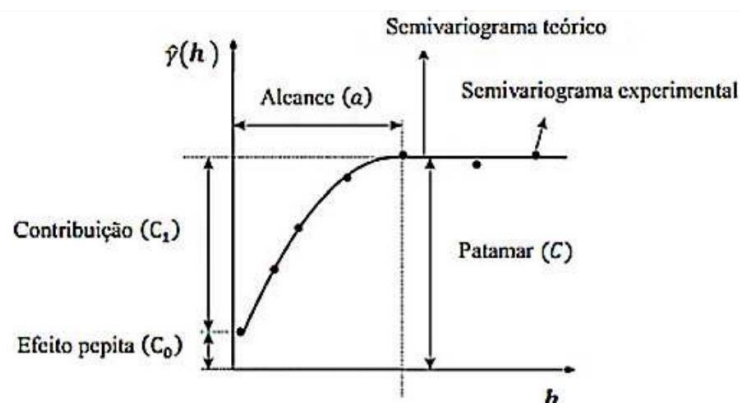
Partindo desse princípio, a geoestatística compreende um modelo probabilístico com fundamento na aleatoriedade dos dados para avaliar a correlação espacial; entre o valor de uma variável em local conhecido e o valor da mesma variável localizada em sua vizinhança (JOURNEL e HUIJBREGTS, 1975). Os métodos geoestatísticos comumente são aplicados em duas etapas: Análise do Variograma

(Semivariograma) e Modelos de Estimação. A primeira está estruturada no conceito de variáveis regionalizadas. Após, é verificada a possibilidade de estimação por técnicas geoestatísticas, pode-se proceder a uma estimação de valores em locais não amostrados (OLIVEIRA et al., 2015).

### 3.4.1. Análise do variograma

O variograma é a representação gráfica da dependência espacial obtido pela variância versus a distância. Se a dependência espacial existir, haverá um crescimento na semivariância até uma determinada distância, a partir da qual o variograma se estabiliza. Caso contrário, se o variograma não apresentar nenhum crescimento com a distância, a e ocorre o efeito de aleatoriedade (efeito pepita puro) (OLIVEIRA et al., 2015).

Segundo Vieira (2000), a caracterização da dependência espacial no variograma dá-se; a partir da semivariância na distância zero (efeito pepita –  $C_0$ ), de forma que ocorra um aumento gradual de  $\gamma(h)$ , proporcional ao aumento da distância  $h$ , até um valor máximo (variância estruturada -  $C_1$ ), ponto a partir do qual o variograma se estabiliza em um patamar ( $C_0 + C_1$ ) que correspondente diretamente à distância limite de dependência espacial (alcance -  $a$ ) (Figura1).



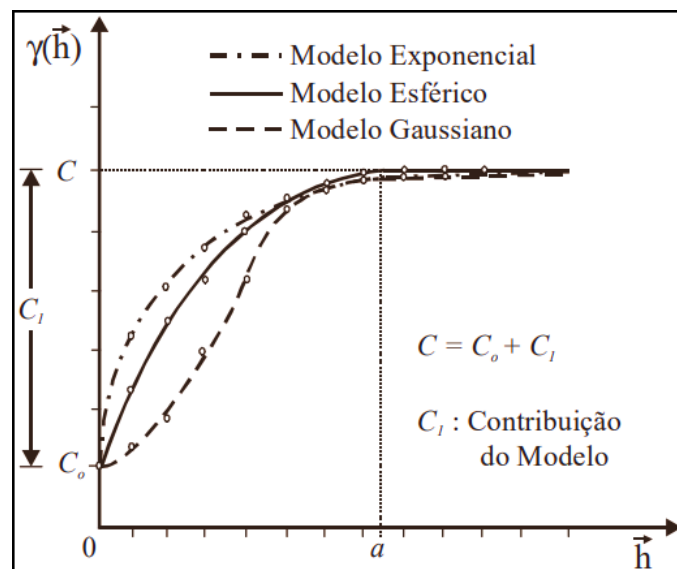
**Figura 1-** Apresentação gráfica de um semivariograma. Fonte: Câmara e Medeiros (1998).

Deve-se salientar que o ajuste do variograma é um dos aspectos mais importantes da análise geoestatística. Alguns coeficientes, como o coeficiente de correção, a raiz quadrada do erro médio (RMSE) e o índice com o de Akaike (IAC) podem auxiliar na validação do modelo escolhido e dos parâmetros para o ajuste do

variograma (OLIVEIRA et al., 2015). A razão entre efeito pepita e patamar, em termos percentuais, fornecem o grau de dependência espacial da variável, que pode ser classificada como forte (< 25%), moderada (25% a 75%), fraca (>75%) ou revelar independência entre as amostras (=100%) (CAMBARDELLA et al., 1994).

Existem três tipos de semivariogramas: o real, aquele que representa a situação verdadeira, porém de determinação inviável; o teórico, considerado de referência e usado para o ajuste do modelo, e o experimental, que é obtido a partir das amostras adquiridas no campo. Dentre os modelos teóricos disponíveis, os mais utilizados são o esférico, exponencial e gaussiano (LANDIM, 2006).

O modelo exponencial utiliza-se da curva exponencial, onde apresenta um patamar ( $c$ ) assíntota da curva, e a amplitude ( $a$ ) o intercepto entre a tangente da curva na origem com o patamar. O modelo esférico apresenta um estado de linearidade no alcance, com uma distância entre zero e alcance e outra maior que chega ao patamar. E o gaussiano nas menores distâncias apresenta uma queda, seguido de um crescimento até o alcance aproxima-se do patamar (Figura 2) (DE OLIVEIRA et al., 2015).



**Figura 2-** Representação gráfica dos semivariogramas teóricos. Fonte: (Camargo; Fucks e Câmara, 2004).

Após os ajustes dos modelos teóricos, havendo a dependência espacial entre as amostras, pode-se interpolar valores em qualquer localização na área de pesquisa, sem tendência e com variação mínima, utilizando inúmeros métodos de interpolação,

com diversos níveis de complexidade (YAMAMOTO e LANDIM, 2013). Conforme Camargo et al. (2002), a geoestatística utiliza dois tipos de procedimentos de interpolação, a Krigagem e Simulação Estocástica.

### **3.4.2. Características da Dependência Espacial**

Após a elaboração dos semivariogramas experimentais, os mesmos são submetidos a verificação das características estruturais. Journel e Huijbregts, (1975) elucidam as propriedades estruturais do variograma como sendo: suporte, zona de influência, estruturas superpostas, anisotropia, continuidade espacial ou comportamento da variável próxima a origem, correionalização.

Algumas dessas propriedades são corriqueiramente analisadas durante a aplicação dos procedimentos geoestatísticos, é o caso da anisotropia. Tal fenômeno apresenta a variação dos elementos observados em várias direções. Para a verificação de existência de anisotropia, são ajustados modelos a um variograma direcional. Os dados apresentam anisotropia quando não é possível dispor de igualdade em todas as direções, caso contrário, são isotrópicos que o comportamento pretendido (OLIVEIRA et al., 2015).

A Krigagem tem como objetivo estimar valores para qualquer local não observado, partindo do princípio que pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que pontos mais afastados. Dessa forma, assumindo que as amostras apresentam autocorrelação espacial. Porém, em uma determinada distância, seguramente não se encontrarão valores aproximados, não ocorrendo mais correlação espacial (CÂMARA et al., 2002).

Os tipos mais utilizados são a krigagem simples e a krigagem ordinária. A krigagem simples é utilizada quando a média é assumida como estatisticamente constante para toda a área e a krigagem ordinária, por sua vez, considera-se a média flutuante ou móvel por toda a área (LANDIM et al., 2002).

### **3.4.3. Krigagem com regressão**

Dentre esses métodos de interpolação, a krigagem com regressão ou regressão-krigagem (RK) vem sendo bastante empregada. A RK constitui método híbrido de interpolação espacial, onde, associa-se a regressão linear com a krigagem

ordinária dos resíduos. Dessa maneira, a junção de componentes determinísticos e estocásticos, torna viável a prenuenciação de uma variável (HENGL, 2009; SCOLFORO, 2014; CARVALHO, 2016).

Promovendo uma visão ampla da variável dependente, a regressão modela os componentes determinísticos, os quais demonstram as tendências em larga escala. E os estocásticos representa a autocorrelação em uma escala menor, sendo verificados pela krigagem. A fim de obter uma precisão maior na predição, o mapa final necessita de correção (OMUTO e VARGAS 2015). Assim, RK é aplicada aos resíduos gerados pelo modelo com o objetivo de corrigir as tendências, introduzindo um aspecto estocástico ao mapeamento.

A análise de regressão múltipla pode ser definida como um conjunto de técnicas estatística usada para analisar a relação entre uma única variável dependente e múltiplas variáveis independentes. Sendo assim, possível gerar modelos explicativos da variável dependente (HAIR et al., 2009; HORNBURG, 2017).

A aplicação da análise de regressão múltipla é ponderada pelo Método dos Mínimos Quadrados, que auxilia na redução de incertezas na predição e diminuição dos os resíduos (KRUEGER e LEWIS-BECK, 2008). As estimativas de resíduos são primordiais, logo que, gera subsídios para a seleção e validação do modelo pretendido variável (FIGUEIREDO FILHO et al., 2011).

Os métodos estatísticos em geral fundamentam-se em pressupostos importantes para a execução da análise, isso não difere na regressão, que tem como critérios:

- A variável Y é aleatória;
- A média dos resíduos é nula;
- A variância dos resíduos é constante, condição e homoscedasticidade dos resíduos;
- Os resíduos são independentes entre si.

O método da regressão múltipla por *Stepwise* é o mais recomendado para seleção criteriosa de variáveis independentes em um modelo explicativo. O *Stepwise* é composto pelos métodos *Forward* e *Backward* (NETER et al., 2008). O método *Forward* considera um modelo nulo, onde adiciona-se covariáveis (independentes) ao modelo, verificando o comportamento da mesma no desempenho do modelo. O

*Backward* faz a seleção em sentido contrário, retirando as covariáveis. Pode ser utilizado também a seleção dessas covariáveis na junção dos métodos *Forward* e *Backward*, tendo assim o *Both* (NETER et al., 2008).

Diversos critérios de seleção de modelos de regressão estão disponíveis na literatura, baseados principalmente na diferença gerada entre valores reais e estimados. Dentre os mais utilizados para modelos volumétricos, estão o erro padrão da estimativa e o coeficiente de determinação, além da análise gráfica dos resíduos e teste F (DRAPER e SMITH, 1998; SOARES et al., 2011).

A aplicação de técnicas geoestatísticas híbridas tem se popularizado nos últimos anos ao permitir a utilização de informações secundárias disponíveis e ao alcançar previsões locais mais precisas, considerando, desta forma, as correlações ambientais (MELLO, 2013).

Neste contexto, existem no setor florestal alguns trabalhos que expõem as vantagens de se utilizar a metodologia geoestatística. A exemplo, estudo realizado por de Mello (2004) que investigou o uso da geoestatística aplicada ao inventário florestal. O mesmo observou que os métodos de ajuste e seleção de modelos geoestatísticos foram eficazes e precisos.

Vários outros estudos veem verificando e analisando o comportamento espacial de variáveis dendrométricas em espécies florestais, apresentando a estrutura espacial como uma característica marcante nessas variáveis (PELLISSARI et al., 2014; GUEDES et al., 2015; SCOLFORO et al., 2016; LUNDGREN et al., 2018; dosSANTOS ATAÍDE et al., 2020).

Tais trabalhos, majoritariamente são realizadas em florestas plantadas. A heterogeneidade da vegetação nativa pode refletir na escassez de trabalhos dentro dessa temática. Quando observado trabalhos para vegetação de Caatinga voltados para predição volumétrica, utilizando técnicas geoestatísticas ainda não são encontrados.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Caracterização da área de estudo**

Os dados deste estudo são provenientes de inventários florestais realizados em vegetação de Caatinga que compreende 54% do território baiano. A vegetação de

Caatinga é composta por um mosaico de arbustos espinhosos e florestas sazonalmente secas. Existe uma grande variação de tipologias, principalmente quando se considera a densidade e o porte das plantas, uma vez que mudanças em escala local se traduzem em diferentes paisagens, em consequência da maior e menor disponibilidade hídrica (AMORIM et al., 2005; FERNANDES e QUEIROZ, 2018).

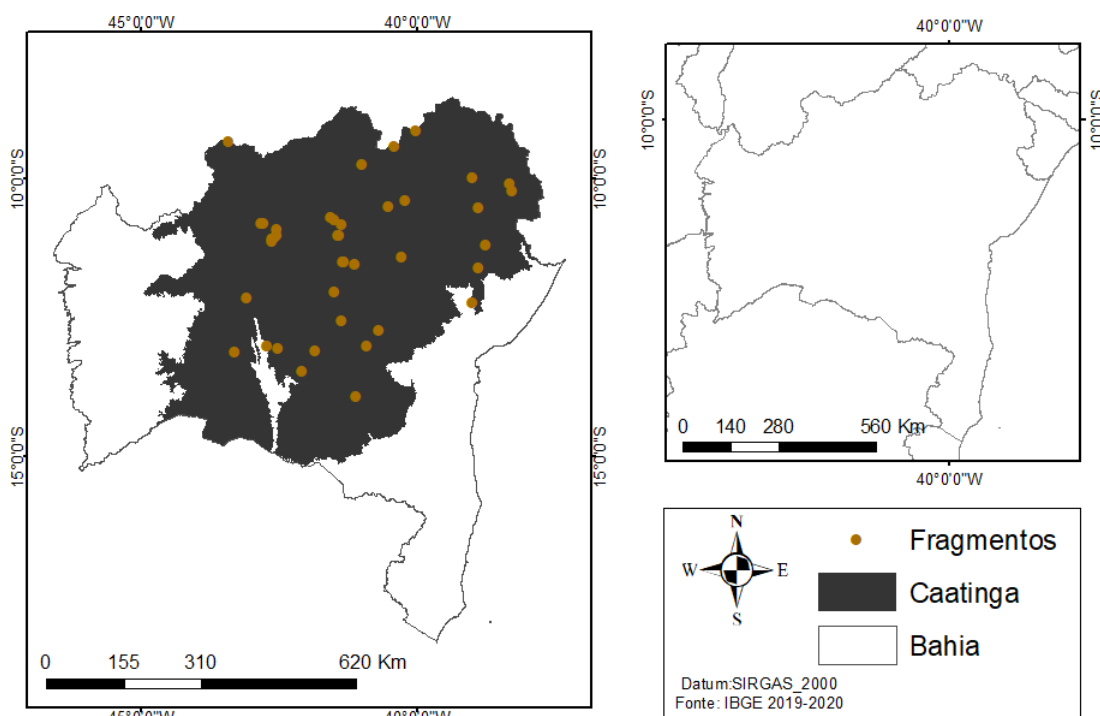
O clima predominante para a Caatinga na Bahia, segundo a classificação de Köppen, são BSw, BSh e BWh, caracterizam-se por clima árido com período chuvoso no verão e períodos secos bem definidos no inverno, com precipitação inferior a 500mm, temperatura média superior a 18°C (ALVARES et al., 2014; SEI-BA, 2014). Os solos que ocorrem em maiores proporções são, Latossolos, Neossolos, Argissolos, Plintossolos e Luvisolos (MARQUES et al., 2014).

#### **4.2. Obtenção da base de dados**

O presente estudo utilizou-se de três fontes de dados para realização da pesquisa. Os dados provenientes da parceira do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA), da Rede de Manejo Florestal da Caatinga em parceira com os laboratórios de Ecologia e Proteção Florestal e de Solos e Biomassa de Solos, presentes na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) e do grupo FlorestPlots.Net.

Em um primeiro momento devido a falta de padronização dos dados, foi realizada uma seleção dos inventários que poderiam ser utilizados da base de dados obtida do INEMA, os quais tinham que conter as seguintes informações; coordenadas geográficas, parcelas, estimativa de altura e CAP e ou DAP. Desta forma, foram reunidos no total 856 parcelas, sendo que, desse total 843 parcelas correspondem a dados oriundos do INEMA, a Rede de Manejo Florestal da Caatinga agregou com 3 parcelas e o FloresPlots.Net 10 parcelas, todas advindas de 40 fragmentos (Figura 4 e Tabela 1).





**Figura 3-** Distribuição dos dados por fragmentos, obtidos para a Caatinga no estado da Bahia.

Os tamanhos das parcelas também variaram com os inventários e fonte de dados, a maioria possuía tamanho padrão de 20 x 20 metros (400 m<sup>2</sup>), e as demais apresentaram tamanhos de 10 x 20 m (200 m<sup>2</sup>), 20x30m (600m<sup>2</sup>), 15x50 (7500 m<sup>2</sup>), 20x50 (1000 m<sup>2</sup>) e 100 x 100 metros (1 hectare).

O diâmetro de inclusão também não foi fixo, o valor do CAP inicial apresentou variação dentro de um intervalo 4 a 15,7 cm, os quais foram mensurados na circunferência a 1,30 m acima do nível do solo. Para melhor desenvolvimento da pesquisa, foi padronizado o diâmetro de inclusão CAP > 10 cm, como também, ocorreu a remoção de valores muitos discrepantes.

**Tabela 1**– Base de dados obtidas do INEMA, RMFC e FlorestPlots, municípios e locais de coleta e números de parcelas obtidas.

<b>FONTE</b>	<b>LOCAL</b>	<b>N° PARCELAS</b>
INEMA	Sento Sé	40
INEMA	Juazeiro	5
INEMA	Juazeiro e Curaça	12
INEMA	Gentio do Ouro e Xique-Xique	136
INEMA	Campo Alegre de Lourdes	42
INEMA	Campo Formoso	21
INEMA	Sento Sé, Umburanas e Ourolândia	32
INEMA	Cícero Dantas, Antas, Sítio do Quinto, Jeremoabo	30
INEMA	Feira de Santana, Anguera, Serra Preta e Ipirá	9
INEMA	Serrinha	23
INEMA	Tucano	49
INEMA	Morro do Chapéu e Cafarnaum	25
INEMA	Souto Soares e Mulungu do Morro	41
INEMA	Piatã	74
INEMA	Xique-Xique	28
INEMA	Assurua - Fase A Xique-Xique	16
INEMA	Assurua - Fase B Xique-Xique	115
INEMA	São Vitor - Xique-Xique	92
INEMA	Boa Vista Tupim	20
INEMA	Ibotirama	10
INEMA	Erico Cardoso	5
INEMA	Serrolândia	5
INEMA	Senhor do Bonfim	6
INEMA	Oliveira dos Brejinhos	3
INEMA	Novo mundo	4
INEMA	Lençóis	5
INEMA	Euclides da Cunha	4
INEMA	Boa Vista do Tupim	3
RMFC	Contendas	3
FlorestPlots	Boa Vista Tupim 01	1
FlorestPlots	Canudos 01	1
FlorestPlots	Gruta dos Brejões 01	1
FlorestPlots	Gruta dos Brejões 02	1
FlorestPlots	Ibiraba Dunas 01	1
FlorestPlots	Ibiraba Dunas 02	1
FlorestPlots	Macaubas 01	1
FlorestPlots	Macaubas 02	1
FlorestPlots	Morro do Chapéu 01	1
FlorestPlots	Morro do Chapéu 02	1

Em que: RMFC= Rede de Manejo Florestal da Caatinga.

### 4.3. Estimativa do volume

Objetivando estimativas do estoque volumétrico (m<sup>3</sup>/ha) mais precisas, derivadas dos dados de campo, foi utilizado os dados georreferenciados, obtidos no período de 2016 a 2021, provenientes dos 40 fragmentos florestais. Em seguida, foram aplicadas equações consolidadas de acordo a tipologias presentes dos pontos amostrados. Os locais foram verificados quanto as formações de Caatinga arbórea, arbustiva e áreas de transição Caatinga/cerrado.

As equações são aplicações do modelo de Schumacher e Hall (1933), divididas em Caatinga Arbórea e Arbustiva que apresentam R<sup>2</sup> de 0,98.

Sendo para Caatinga Arbórea;

$$V = -9,53089 \times DAP^{2,00951} \times H^{0,84063}$$

Onde, V= volume m<sup>3</sup>; DAP = Altura de 1,30 cm do solo (cm); H = altura (m).

Para Caatinga Arbustiva;

$$V = -9,33235 \times DAP^{2,01714} \times H^{0,66644}$$

Onde, V= volume m<sup>3</sup>; DAP = Altura de 1,30 cm do solo (cm); H = altura (cm).

Para os dados referentes ao Floresta Nacional Contendas do Sincorá, empregou-se uma equação local desenvolvida por Pereira et al (2020), que utilizou o modelo de Spurr Linearizado especificamente para a localidade em questão com R<sup>2</sup> de 0,86, descrita conforme a equação a seguir:

$$\ln V = -9,935921 + 1,026668 \ln(DAP^2 \times H)$$

Onde, V = volume (m<sup>3</sup>); DAP = diâmetro a uma altura de 1,30 m do solo (cm); H = total altura (m); Ln = logaritmo neperiano; ε = erro padrão residual.

Devido a alta variação volumétrica existente nos dados, a qual muita das vezes interfere negativamente nas análises estatísticas, os dados foram agrupados em fragmentos com propósito de obter estimativas mais precisas. Os valores de volume indivíduos por parcela tiveram suas médias estabelecidas e posteriormente somados em nível de fragmentos e extrapolados metros cúbicos por hectare (m<sup>3</sup>/ha). Todos os cálculos e análises foram desenvolvidos no Excel 2019. Para a obtenção de uma modelo que melhor explicasse o volume de madeira na área estudada, as parcelas foram organizadas por fragmento, obtendo assim 40 fragmentos.

#### **4.4. Aquisição e pré-processamento de variáveis ambientais**

Após a estimativa individual do volume em nível de árvore e parcela por hectare, os dados foram associados a um conjunto de variáveis explicativas em cada local, sendo selecionadas 46 covariáveis geoespaciais em formato raster referentes a cada ponto amostrado para cada fragmento identificado na vegetação de Caatinga na Bahia. As covariáveis foram obtidas por meio de sensoriamento remoto via satélite e estações meteorológicas terrestres globalmente distribuídas, as quais, apresentam séries temporais de informações, foram agrupadas em diferentes subconjuntos: topoclimática, cobertura do solo e heterogeneidade do hábitat.

As variáveis topoclimáticas são compostas pela altitude (relevo da área) e pelo conjunto de 19 variáveis bioclimáticas da base mundial de dados WorldClim 2.1 (<https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>), obtidas com resolução de 1 km<sup>2</sup> (FICK e HIJMANS, 2017). As variáveis geográficas e topográfica foram extraídas do mapa disponibilizado pela NASA-SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de 100 metros referentes a altitude (elevação). As covariáveis latitude e longitude são provenientes das bases de dados obtidas em campo (Tabela 2).

**Tabela 2** – Variáveis bioclimáticas, latitude e longitude utilizadas para ajuste do modelo de predição volumétrica na Caatinga, Bahia.

Variáveis	Descrição
Bio 1	Temperatura média anual (°C)
Bio 2	Intervalo médio diurno (média mensal) (°C)
Bio 3	Isotermalidade (Bio 2/ Bio 7) (*100) (°C)
Bio 4	Sazonalidade de temperatura (desvio padrão*100) (°C)
Bio 5	Temperatura máxima do mês mais quente (°C)
Bio 6	Temperatura mínima do mês mais frio (°C)
Bio 7	Faixa anual de temperatura (Bio 5 - Bio 6) (°C)
Bio 8	Temperatura média do trimestre mais chuvoso (°C)
Bio 9	Temperatura média do trimestre mais seco (°C)
Bio 10	Temperatura média do trimestre mais quente (°C)
Bio 11	Temperatura média do trimestre mais frio (°C)
Bio 12	Precipitação média anual (mm)
Bio 13	Precipitação do mês mais chuvoso (mm)
Bio 14	Precipitação do mês mais seco (mm)
Bio 15	Sazonalidade de precipitação (Coeficiente de variação) (mm)
Bio 16	Precipitação do trimestre mais úmido (mm)
Bio 17	Precipitação do trimestre mais seco (mm)
Bio 18	Precipitação do trimestre mais quente (mm)
Bio 19	Precipitação do trimestre mais frio (mm)
Elev	Elevação (m)
Lat	Latitude
Long	Longitude

A Tabela 3 apresenta os dados obtidos da plataforma EarthEnv (<http://www.earthenv.org/>), que são produtos globais de cobertura da terra provenientes de sensoriamento remoto e fornecem informações de consenso em 12 classes de cobertura da terra com resolução de 1 km, disponibilizadas em versões completas e reduzidas. A versão completa é o conjunto de dados que integra GlobCover (2005-06; v2.2) o produto de cobertura terrestre MODIS (MCD12Q1; v051), GLC2000 (produto global; v1.1) e DISCover (GLCC; v2). A versão reduzida é o conjunto de dados que integra todos os produtos exceto a DISCover. Para o presente estudo foi utilizado a versão completa (TUANMU e JETZ, 2014).

**Tabela 3**– Variáveis de cobertura do solo utilizadas para ajuste do modelo de predição volumétrica na Caatinga, Bahia.

<b>Consenso de Cobertura do Solo</b>
1 - Árvores de folha agulha perenes / caducas
2- Árvores perenes de folha larga
3 - Árvores decíduas de folha larga
4 - Árvores Mistas / Outras
5 – Arbustos
6 - Vegetação Herbácea
7- Vegetação Cultivada e Manejada
8 - Vegetação regularmente inundada
9- Urbano / Construído
10- Estéril
11- Água aberta

O terceiro e último conjunto de variáveis foram também contraídas da plataforma EarthEnv, com 14 variáveis que quantificam a heterogeneidade espacial do habitat global, em resolução 30 segundos de arco (1 km), provenientes de características texturais das imagens do Índice de Vegetação Aprimorado (EVI) adquiridas pelo Espectrorradiômetro de Imagem de Resolução Moderada (MODIS) (Tabela 4). Os valores de pixel das camadas de dados foram multiplicados por 0,0001 para obter os valores reais das métricas. (TUANMU e JETZ, 2015).

**Tabela 4** – Variáveis de heterogeneidade espacial do habitat global utilizadas para ajuste do modelo de predição volumétrica na Caatinga, Bahia.

<b>Heterogeneidade Global de Habitat</b>
1- Coeficiente de variação
2- Uniformidade
3- Faixa
4- Shannon
5- Simpson
6- Desvio padrão
7- Contraste
8- Correlação
9- Dissimilaridade
10- Entropia
11- Homogeneidade
12- Máximo
13- Uniformidade
14- Variância

Todas as variáveis adquiridas para ajuste do modelo, exceto latitude e longitude foram processadas no software R software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020, versão 4.0.2). Afim de obter valores das covariáveis geoespaciais correspondentes a área de estudo, inicialmente foram obtidas tais métricas para o estado da Bahia e posteriormente, utilizando as coordenadas presente nos dados de campo, foi realizada a extração de valores para cada ponto amostrado utilizando a função *raster::extract* do pacote raster (HIJMANS et al., 2021) do R em cada arquivo raster das covariáveis geoespaciais; essas informações foram então armazenadas e salvas em uma matriz final e usadas como variáveis preditoras no modelo.

#### 4.5. Modelagem estatística

A partir da base de dados da matriz final, foram ajustados modelos com de regressão linear múltipla, utilizando a variável dependente o volume em m<sup>3</sup>/ha em função de covariáveis (independentes) geoespaciais topoclimáticas, cobertura do solo e heterogeneidade do habitat. O objetivo da modelagem consistiu em estabelecer um bom modelo explicativo da distribuição volumétrica na Caatinga da Bahia, a partir de covariáveis geoespaciais que potencialmente governam a distribuição espacial do volume na vegetação de Caatinga na Bahia.

O modelo matemático utilizado é apresentado da seguinte forma;

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

Onde,  $\alpha$ : Intercepto;  $\beta$ : Coeficientes de regressão das variáveis independentes, X: Variáveis independentes;  $\varepsilon$ : Erro aleatório.

Conforme recomendado por Draper e Smith (1980), foi construída uma matriz de correlação com os dados de volume dos fragmentos e as covariáveis. Entre variáveis diretamente coletadas (as coordenadas geográficas) e as resultantes do processo de obtenção via plataformas digitais, somaram-se ao todo 47 variáveis independentes. As variáveis que apresentaram coeficientes não significativamente diferentes valores zero ( $p > 0.05$ ) foram excluídas. Posteriormente, as variáveis resultantes foram submetidas ao procedimento *Stepwise* via Critério de Informação de Akaike de seleção de variáveis.

Os modelos foram verificados e selecionados quanto aos pressupostos de

normalidade dos resíduos via análise gráfica e pelo teste de Shapiro-Wilk. Para homoscedasticidade foi realizada análise gráfica dos resíduos da regressão versus os valores estimados da variável dependente, e aplicação do teste Breusch-Pagan. Durbin-Watson utilizado para observar se os resíduos são independentes. Para ausência de multicolinearidade, que é um problema constante nas análises de regressão, utilizou-se o VIF (Fator de Inação da Variância).

Os critérios utilizados para a avaliação da qualidade dos ajustes foram: coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e medidas de erro padrão da estimativa. Para garantir que o modelo seja realmente adequado, foi realizado o procedimento de validação cruzada gerando valores de verossimilhança pelo critério de Informação de Akaike (AIC) e a raiz quadrada do erro médio (RMSE). Todas as computações e análises foram desenvolvidas utilizando o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020, versão 4.0.2).

## 4.6. Modelagem geoestatística

### 4.6.1 Krigagem ordinária

A partir dos resíduos do modelo de regressão linear múltipla foram ajustados os modelos teóricos esférico, exponencial e gaussiano aos semivariogramas experimentais. Nesse procedimento foram adotados os métodos da Máxima Verossimilhança, Quadrados Mínimos Ordinários e dos Mínimos Quadrados Ponderados, considerando a pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca (Tabela 5) (JOURNEL e HUIJBREGTS, 1978).

**Tabela 5** – Modelos de semivariogramas teóricos ajustados para avaliar a dependência espacial do volume da Caatinga para o estado da Bahia.

Modelos	
<b>Esférico</b>	$\gamma(h) = \beta_0 + \beta_1 [1,5 (h / \beta_2) - 0,5 (h / \beta_2)^3]$
<b>Exponencial</b>	$\gamma(h) = \beta_0 + \beta_1 [1 - \exp (- h / \beta_2)]$
<b>Gaussiano</b>	$\gamma(h) = \beta_0 + \beta_1 [1 - \exp (-3 (h / \beta_2)^2)]$

Em que:  $\gamma(h)$  = semivariância;  $\beta_0$  = efeito pepita;  $\beta_1$  = patamar;  $\beta_2$  alcance; h = distância entre os pontos amostrados.

Visando avaliar o desempenho e selecionar o modelo de semivariograma que



melhor se adequa ao conjunto de dados, utilizou-se como critério a validação cruzada, pelo qual calcula-se o erro médio reduzido (EMR), o desvio padrão do erro médio reduzido (SER) e superestimativa do modelo (MORAIS et al., 2017; SENA et al., 2019). A partir do modelo espacial selecionado, os resíduos da regressão foram interpolados por krigagem ordinária, obtendo-se o mapa residual.

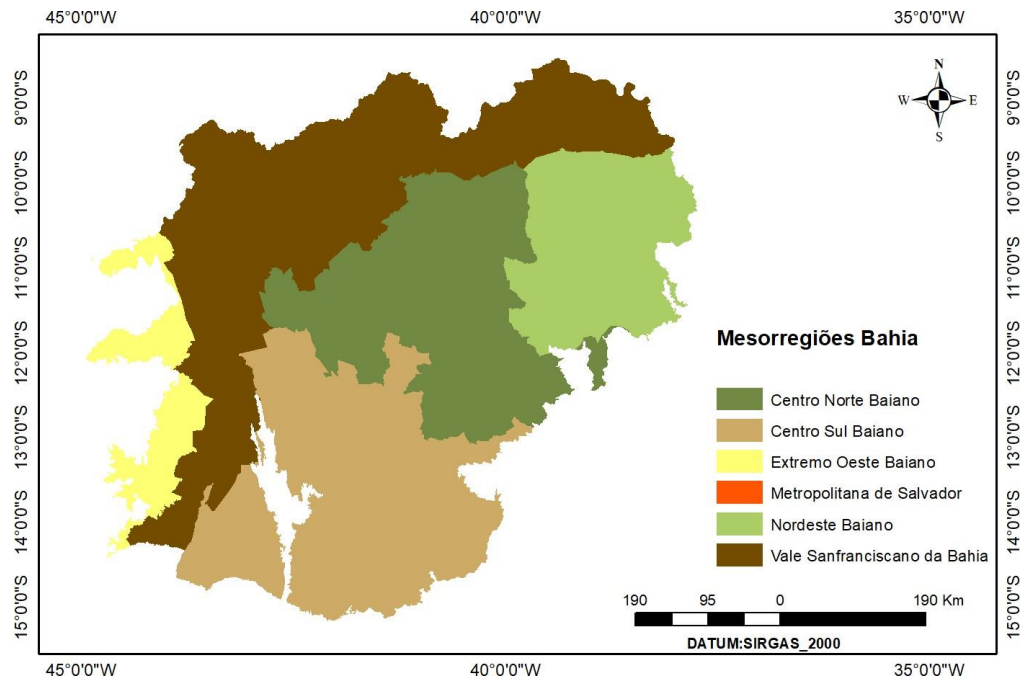
No ajuste dos modelos teóricos dos semivariogramas experimentais determinaram-se os parâmetros efeito pepita ( $\tau^2$ ), patamar ( $\sigma^2$ ) e alcance ( $\phi$ ). Para a análise do grau de Dependência Espacial (DE) foram utilizadas a relação  $\tau^2 / (\tau^2 + \sigma^2)$  e os intervalos propostos por Cambardella et al. (1994), que consideram como dependência espacial forte ( $DE < 25\%$ ); moderada ( $25\% < DE < 75\%$ ) e fraca ( $DE > 75\%$ ). Análises obtidas por meio do pacote GeoR no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020, versão 4.0.2), e posteriormente o mapa de Krigagem foi gerado no ArcGis 10.5 (ESRI, 2015).

#### **4.6.2. Krigagem com regressão**

Para a aplicação da krigagem com regressão foram criadas, para todas as variáveis selecionadas e ajustadas no modelo do estoque volumétrico, células georreferenciadas contínuas de dimensões de 100 m x 100 m, com o auxílio do programa ArcMap 10.5 (ESRI, 2015). Cada célula, continha as informações das variáveis preditoras. Todavia, este mapa tende a apresentar tendências nas estimativas e para a sua correção foi acrescido o mapa residual de krigagem ordinária, usando ferramentas de álgebra de mapas, obtendo-se assim, o mapa final não enviesado da distribuição espacial do volume para toda a área da Caatinga no estado da Bahia.

Para a validação preditiva da krigagem ordinária foram calculados: Média Padronizada (MS); Raiz Quadrada do Erro Médio Padronizado (RMSS); Erro Padrão Médio (ASE); Raiz Quadrada do Erro Médio (RMS), provenientes da validação cruzada, que forneceram a precisão das estimativas, tomando como base o conjunto de dados (BARNI et al., 2016; SILVEIRA et al., 2019). A interpolação foi realizada no ArcGIS versão 10.5 (ESRI, 2015).

Devido da grande extensão da área de vegetação de caatinga na Bahia, as análises dessa pesquisa é fundamenta na subdivisão geopolítica de mesorregiões. A Figura 9 apresenta a divisão da área da Caatinga presente no estado da Bahia em mesorregiões.



**Figura 4-** Divisão em mesorregiões para a área da Caatinga no estado da Bahia. Fonte: IBGE, 2019 (Adaptada pelo autor).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Correlação entre o volume e as variáveis selecionadas

A análise de correlação de Pearson observou uma alta correlação entre as covariáveis presentes nos conjuntos de dados, do que com a variável de interesse, que é o volume. Tal situação necessita de uma averiguação minuciosa, logo que, podem gerar falsas relações entre variáveis e covariáveis, e altos valores de  $R^2$ , que é uma métrica que sofre influência do número de covariáveis no modelo.

Essa etapa inicial permitiu uma seleção de quais covariáveis apresentavam relações mais significativas com o volume. A Tabela 6 traz os coeficientes de correlação de Pearson, das covariáveis que foram selecionadas para composição do

modelo de predição volumétrica com a variável volume.

**Tabela 6-** Coeficientes da correlação de Pearson com o volume (m<sup>3</sup>/ha) e as covariáveis do volume de regressão linear múltipla.

VOLUME	BIO1	BIO14	ELEVAÇÃO	VCM	AM	ARB	cor	sim
-----	-0.205	-0.1	0.098	-0.099	0.14	-0.198	-0.15	0.21

As covariáveis bioclimáticas bio1 (temperatura média anual) bio14 (precipitação do mês mais seco), da heterogeneidade VCM (vegetação cultivada e manejada), ARB (arbustos) e cor (correlação) apresentam correlação negativa com o volume, deste modo, o aumento do estoque volumétrico está associado com a diminuição de tais covariáveis. A elevação, AM (árvores mistas) e sim (Índice de Simpson) demonstraram correlação positiva com o volume, apresentando uma relação diretamente proporcional.

A relação entre bio1 e bio14 com volume é esperada, logo que, a vegetação da Caatinga é composta por formações vegetais cuja dinâmica está diretamente associada a variação e sazonalidade climática. Desde modo, o padrão espacial e temporal da vegetação apresenta influencia das temperaturas médias elevadas (25° e 30°C), e precipitação irregular (entre 400 e 1200 mm anuais) que ocorre em poucos meses do ano, com período seco e chuvoso bem definido (TABARELLI et al., 2018, da SILVA GOMES et al., 2021). Essa interação clima-vegetação promove alterações na diversidade florística e estoque volumétrico nas áreas da Caatinga.

Para as covariáveis ARB e AM a diversidade de formações vegetais presente na Caatinga, coordena essa associação com o volume. As tipologias associadas a Caatinga apresentam geralmente árvores baixas e arbustos bastante ramificados, com folhas pequenas e ou na maioria dos casos com espinhos ou acúleos, intercalados com plantas suculentas, e um estrato herbáceo formado por plantas anuais (FERNANDES e QUEIROZ., 2018).

Os processos de uso, manejo e ocupação do solo são determinantes para a permanência ou retirada da vegetação nativa, sendo assim, a variável VCM é bastante coerente. O semiárido brasileiro é firmemente impactado pelas diferentes formas de uso da terra (SINGH, 1998; MENEZES et al., 2012; de QUEIROZ et al., 2017). Este contexto gera uma alta vulnerabilidade a região, com da remoção da vegetação para

pastagem, lenha e agricultura (SOUZA et al., 2015), onde a retirada da cobertura vegetal é considerada como fator inicial para a degradação ambiental (VILLAGRA et al., 2013).

As covariáveis correlação e índice de Simpson são oriundos das imagens do Índice de Vegetação Melhorado (EVI). A heterogeneidade do habitat tem sido vista como uma característica que determina padrões de biodiversidade nos ambientes naturais, dessa forma, compreender a biodiversidade de um dado local e suas alterações ao longo do tempo, fornecendo uma verificação segura da dinâmica do ambiente. Portanto, a associação dessas covariáveis ao modelo preditivo aponta para a forte influência da diversidade do ambiente sobre a distribuição volumétrica na Caatinga (TUANMU e JETZ, 2015).

## 5.2. Regressão Linear Múltipla

A equação geral resultante do ajuste do modelo é finalmente apresentada da seguinte forma:  $Vol = bio1 + bio14 + elev + VCM + AM + ARB + cor + sim$ . Os valores dos coeficientes, significância e estatísticas de regressão são apresentados na tabela 7.

**Tabela 7-** Coeficientes estimados na regressão linear múltipla e teste t student para averiguação da significância estatística

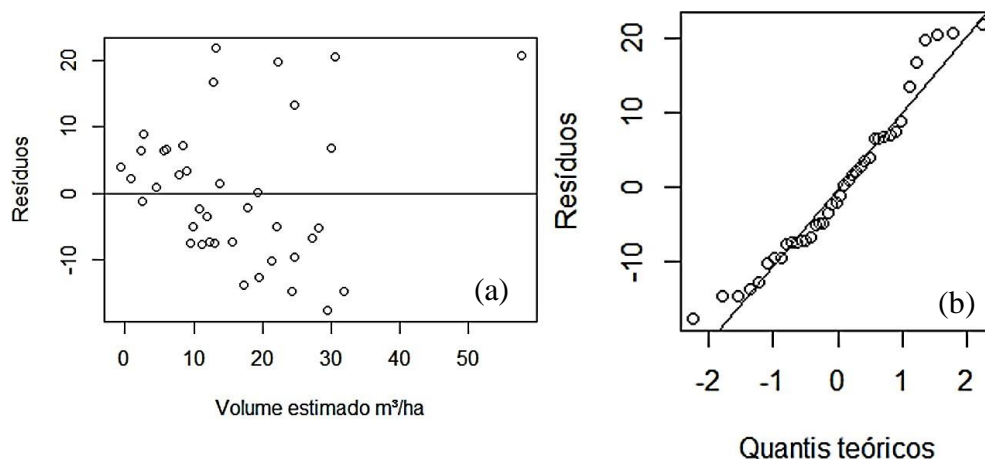
Coef	Variável	Valores	P-valor
b0	Intercepto	214,400000	0,024947*
b1	bio1	-815,868000	0,012707*
b2	bio14	-0,643421	0,013837*
b3	elev	-0,036597	0,056920*
b4	VCM	-0,469577	0,006725*
b5	AM	-0,426335	0,030276*
b6	ARB	-0,760935	0,000537*
b7	cor	-0,005518	0,000880*
b8	sim	0,009812	0,000584*
Shapiro-Wilk	0,09192*	R <sup>2</sup>	0,5443
Breush-Pagn	0,09605*	AIC	216,16
Durbin-Watson	0,1544*	RMSE	10,9
P-value	< 0,001	VIF	1,77

Em que: vol= Volume; bio1= Temperatura Média Anual; bio14= Precipitação do Mês Mais Seco; elev= Elevação; VCM= Vegetação Cultivada e Manejada; AM= Árvores Mistas; ARB=Arbustos; cor=Correlação; e sim= Índice de Simpson;\*= Significância estatística a 5% de probabilidade.

Os P-valores encontrados para cada variável demonstra que as covariáveis selecionadas são uma adição significativa na predição do volume. O teste de Shapiro-Wilk para normalidade, Breush-Pagan homoscedasticidade, Durbin-Watson para autocorrelação, e VIF (Fator de Inação da Variância) para multicolinearidade sugerem boa aplicação da equação, ou seja, o valor encontrado no ajuste do modelo apresenta estimativas estatísticas adequadas.

Os resíduos da equação apresentam uma distribuição razoavelmente homogênea, não ocorrendo a presença de tendências que possam gerar estimativas enviesadas. O resíduo gerado pelo modelo de forma logica, agrega os efeitos da grande variabilidade os valores do volume, o que, em alguns casos podem promover algumas inconsistências preditoras.

Com relação à normalidade dos resíduos, o teste de Shapiro-Wilk indicou que os resíduos do modelo tendem para distribuição normal (Figura 5).



**Figura 5-** Gráficos de dispersão dos resíduos da regressão e do volume de madeira estimado de madeira (a); distribuição do resíduo quanto a distribuição normal, sobre uma linha de referência (b).

Para a autocorrelação de 1ª ordem, foi utilizada a estatística Durbin-Watson. Segundo Hair et al. (2009), para valores próximos a 2, a estatística DW conclui que não há autocorrelação e ocorre uma associação linear de 1ª ordem com os resíduos da regressão; para valores próximos de 0 tem-se uma correlação positiva, os valores próximos a 4 evidenciam uma correlação negativa. A estatística DW neste trabalho está próxima de 2, indicando a inexistência de autocorrelação, de modo prático não ocorre associações relevantes entre as covariáveis. O teste de Breusch- Pagan pressupõe que as variâncias dos resíduos são iguais (homoscedasticidade) em

oposição de que as variâncias dos resíduos são uma função multiplicativa de uma ou mais variáveis. Foi verificando neste estudo que a hipótese nula foi aceita, tendo os resíduos homoscedasticidade. O VIF foi considerado baixo e que não houve multicolinearidade entre os parâmetros da equação, pois como regra geral, um VIF maior que 10 indica que a multicolinearidade é alta.

A equação desenvolvida permitiu explicar variação total do volume de madeira da vegetação de Caatinga na Bahia em aproximadamente 54% (valor de  $R^2$ ). O RMSE e Critério de Informação de Akaike (AIC) são parâmetros que se mostram adequados com os menores valores possíveis encontrados. Todos os parâmetros verificados nesta pesquisa apresentaram satisfatórios e adequados, confirmando a capacidade preditiva do modelo desenvolvido. Portanto, pode-se afirmar que o modelo ajustado é aceitável e adequado para a predição do volume de madeira para a Caatinga, presente no estado da Bahia.

Pesquisas anteriores reportaram resultados similares em termos de qualidade do modelo testado para relações dendrométricas. Por exemplo, em vegetação de Caatinga arbustiva-arbórea Accioly et al. (2002) e Almeida et al. (2014) utilizando imagens de satélite encontraram variações no valor de  $R^2$  de 36% a 60% respectivamente, e valor de RSME ligeiramente maiores para modelagem volumétrica quando comparado com os resultados deste estudo. Reis et al. (2020), Silveira et al. (2019) e Silva (2014) em trabalhos destinados a modelagem e distribuição espacial do estoque volumétrico com auxílio de variáveis ambientais e sensoriamento remoto, para vegetação do cerrado no estado de Minas Gerais, encontram valores de  $R^2$  similares e inferiores. É importante salientar, que resultados semelhantes foram encontrados partido de locais e amostragem distintos, evidenciando o ajuste razoável realizado nesta pesquisa.

Quando observados trabalhos com aplicações de técnicas análogas para outras variáveis, como Scolforo et al. (2015) onde mapearam a distribuição espacial do estoque de carbono acima do solo de plantas arbóreas na Mata Atlântica, Mata semiárida, e biomas de savana em Minas Gerais, pode-se constatar que os resultados encontrados de  $R^2$ ,  $R^2$  ajustado e VIF são próximos aos observados neste estudo. Debastiani et al. (2019) verificaram o emprego da regressão robusta e linear para associar a biomassa acima do solo com os dados obtidos por sensoriamento remoto em área de floresta amazônica no estado de Rondônia, Norte do Brasil. Os resultados

obtidos no modelo de regressão linear revelam que o desempenho dos parâmetros  $R^2$  e  $R^2_{aj}$  foi baixo associado a um RMSE relativamente alto. Trazendo para o cenário da vegetação de Caatinga, Luz et al, 2021 examinou a relação entre o índice de vegetação e a biomassa estimada por meio de equações alométricas em diferentes áreas da Caatinga brasileira a partir de imagens de satélite, empregando técnicas da regressão linear, encontrando resultados que corroboram com esta pesquisa.

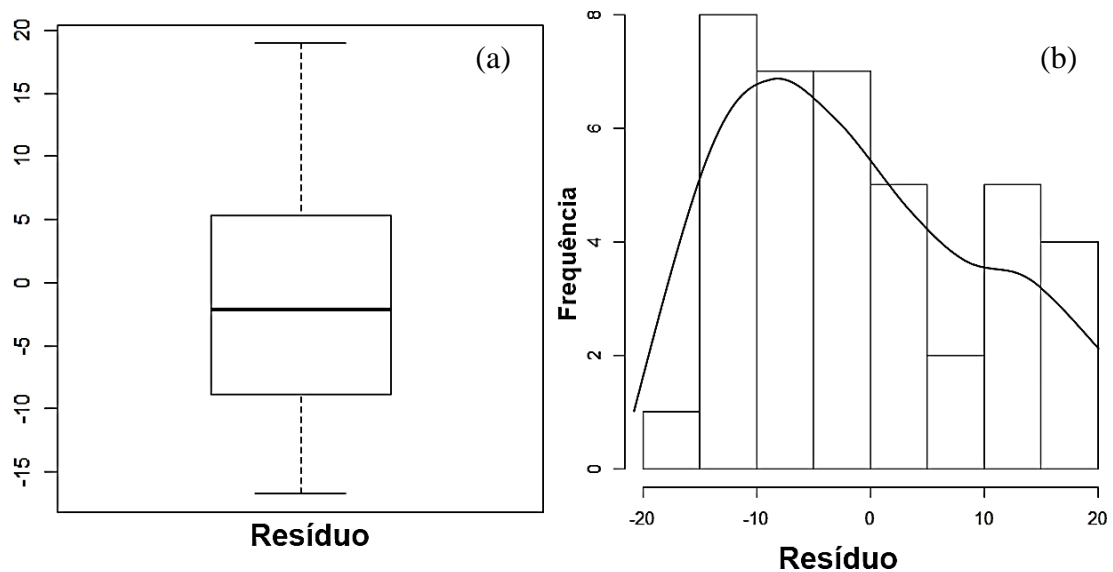
O uso de técnicas de modelagem estatística, voltada para variáveis desta natureza apresentam resultados marcados pela alta heterogeneidade presente nesses ambientes. Deste modo, é importante considerar a complexidade das variáveis avaliadas e suas interações, uma vez que os fragmentos observados apresentam diferentes graus de antropização, estágios sucessionais ecológicos e árvores com grandes variações em altura e diâmetro, o que fornece uma variabilidade vegetal bastante relevante (SCOLFORO et al, 2008).

O desenvolvimento vegetal é outro ponto importante neste contexto. Compreendido como o resultado das condições ambientais predominantes, cada espécie exige características específicas do meio, as interações entre fatores abióticos e/ou bióticos promovem diferentes respostas das plantas. Quando pensando para a vegetação de Caatinga, o solo pode apresenta-se como uma métrica importante que também afeta a dinâmica do local e o volume de árvores lenhosas.

### **5.3 Krigagem Ordinária**

#### **5.3.1. Análise exploratória resíduo**

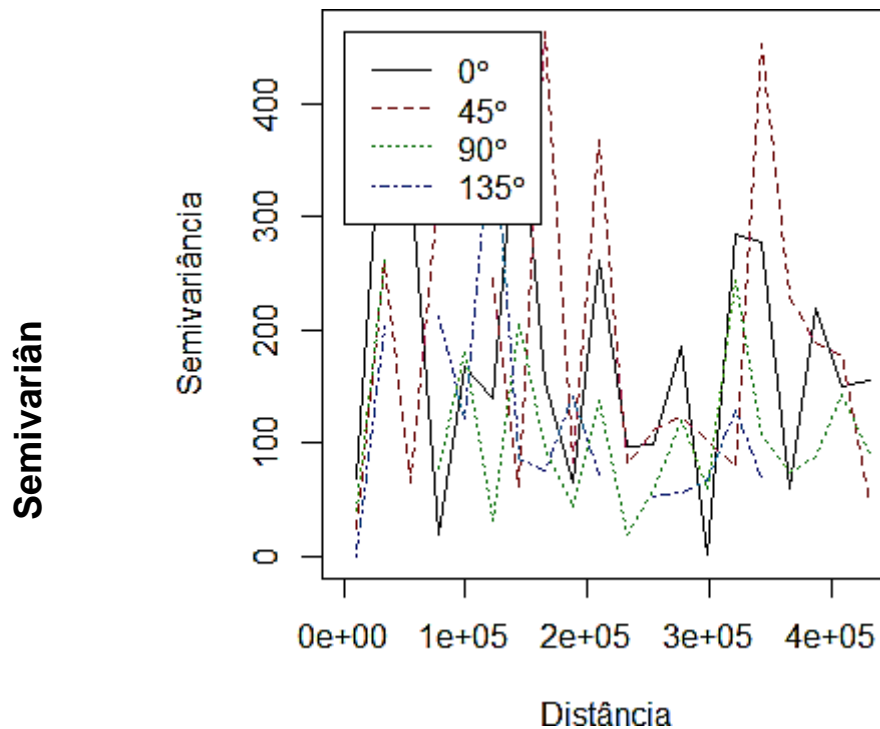
Diante do modelo ajustado, foram extraídos os resíduos para realização da krigagem ordinária. As investigações iniciais para a aplicação de uma metodologia são fundamentais para obtenção de resultados apropriados e confiáveis. O gráfico *Boxplot* para os resíduos não apresentou nenhum dado discrepante e uma boa distribuição dos valores encontrados. A análise gráfica do histograma permite verificar que os dados tendem a distribuição normal dos resíduos (Figura 6).



**Figura 6-** Gráfico *Boxplot* (a); histograma dos resíduos do modelo volumétrico  $m^3/ha$  (b).

Para gerar o semivariograma é importante a verificação prévia de seus componentes estruturais. A análise anisotrópica permite verificar se os dados apresentam comportamento semelhantes em várias direções, sendo assim isotrópico. A figura 7 apresenta o comportamento dos resíduos do modelo volumétrico em várias direções, evidenciando a não existência de anisotropia

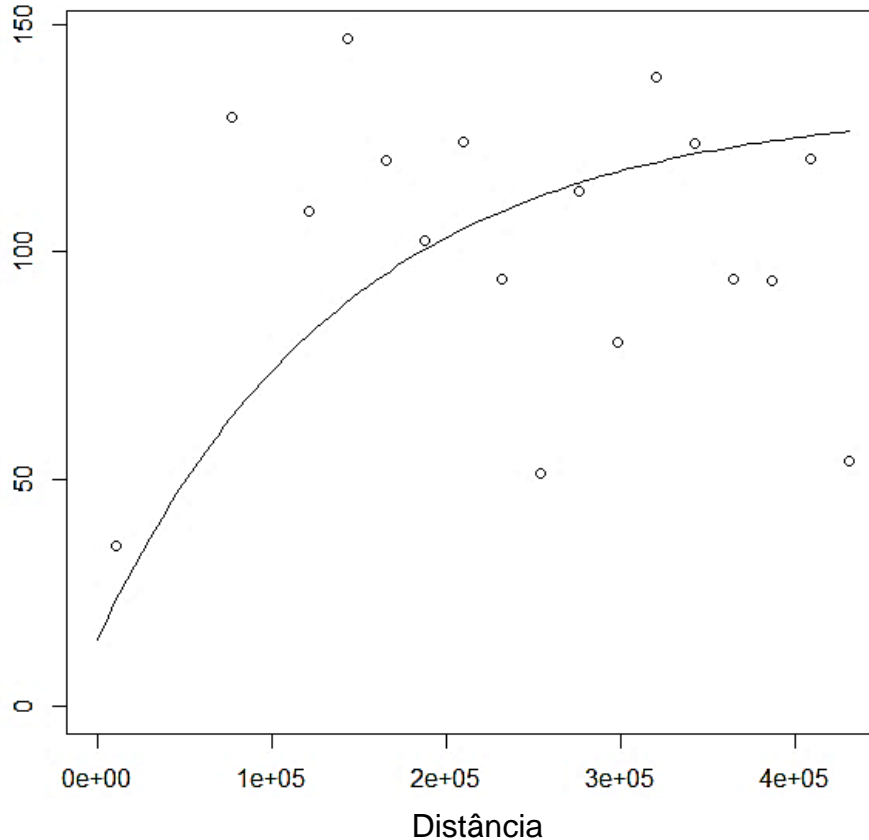




**Figura 7-** Análise anisotrópica para dos dados de resíduos do modelo volumétrico m<sup>3</sup>/ha.

A partir da obtenção dos valores residuais foi gerado um variograma experimental com a finalidade de analisar a dependência espacial dos resíduos. O ajuste do semivariograma teórico para os resíduos da equação gerada ocorreu pelo método Mínimos Quadrados Ponderados (WLS). De acordo com os parâmetros da validação cruzada, o modelo exponencial apresentou o melhor ajuste. O erro médio reduzido (0,003954), superestimativa (-24,75) e desvio padrão (2,24) foram as menores estimativas observadas.

O semivariograma experimental construído a partir dos resíduos da equação evidenciou uma estrutura de dependência espacial Figura 8. Os parâmetros estimados pelo modelo exponencial foram o patamar, alcance e efeito pepita.



**Figura 8-** Semivariograma ajustado para os dados de resíduos provenientes da equação geral de estimativa de volume.

Os resíduos apresentaram um efeito pepita (“*nugget*”) de 14,7, o patamar (“*sill*”) de 117,6 e o alcance ou Amplitude (“*range*”) foi de 14.3453 km. Tais parâmetros foram ajustados utilizando a distância de 44.3198 km. O valor do efeito pepita indica que a variação dos resíduos foi explicada pelo modelo do semivariograma, logo, o valor ideal deve ser igual a zero. (YAMAMOTO e LANDIM, 2013). Quando comparando com trabalho semelhante desenvolvido por Silveira et, 2019 o efeito pepita encontrado nessa pesquisa foi baixo, tendo pouca variação não explicativa dos dados. O patamar (“*sill*”) corresponde ao valor no qual o semivariograma se estabiliza, ou seja, a partir desse ponto devido à distância, as amostras se apresentam independentes. O alcance é a medida que representa a maior distância de separação entre pares de pontos para a qual se deve utilizar a Geoestatística (FERREIRA, 2013). Portanto, esses pontos foram observados em distâncias de separação onde a grau de dependência espacial é menor ou nulo, implicando em um comportamento aleatório dos valores da semivariância.

Para Mello e Viola (2013), o alcance é um parâmetro importante a ser observado na análise variográfica, pois o mesmo está associado à existência da dependência espacial e aplicação dos princípios da autocorrelação espacial. O Grau de Dependência (GD) espacial do estudo foi de 11%, sendo considerada forte segundo Cambardella (1994) que classificada como forte (< 25%), moderada (25% a 75%), fraca (>75%). Desta maneira, é possível inferir que a grande variabilidade do estoque de volume da área da Caatinga no estado da Bahia, associada a uma amostragem pequena para os parâmetros exigidos pela da geoestatística, gerou uma interferência no ajuste e desempenho do semivariograma produzido neste estudo.

O semivariograma corresponde a uma característica intrínseca da regionalização. Segundo Yamamoto (2001). A hipótese intrínseca é um conceito básico na Teoria das Variáveis Regionalizadas e implica que a função intrínseca descreve o comportamento espacial da variável regionalizada dentro do espaço. A variação espacial é estacionária se o variograma for o mesmo onde quer que se amostra. Do ponto de vista prática, áreas que apresentam uma grande amplitude de variação nos valores estimados como é o caso da área em estudo, tendem a apresentar interferência no diretamente o desempenho do semivariograma.

Outro ponto relevante, é a forma e o tamanho da configuração amostral que podem afetar os estimadores teóricos, e conseqüentemente a descrição da estrutura de dependência espacial e as estimativas espaciais de valores não medidos (KESTRING et al., 2015). Portanto, um dos principais limitantes para o uso de técnicas da geoestatística é o número de amostras necessária para formar a malha amostral ideal, que represente espacialmente a distribuição da variável em estudo (SOUZA et al., 2014).

Uma maior disponibilidade de dados observados favorece a representatividade da variabilidade espacial da variável em diferentes escalas (GREGO et al., 2014). No entanto, os esforços de campos são demorados e custosos, sendo isto um ponto que impulsiona e fundamenta a realização de trabalhos como estes, ao mesmo tempo que é uma questão dentro do processo metodológico. Desta forma, a intensidade amostral deve ser ótima, ao ponto que garante a dependência espacial e uma boa acurácia da predição, com o mínimo de esforço de campo.

### 5.3.2. Krigagem ordinária dos resíduos

Para medição de erros gerados pelas estimativas do processo de krigagem ordinária, foi utilizada a validação cruzada, descrita por Alves e Vecchia (2011) como sendo o processo em que após as estimativas, cada ponto é retirado por vez e as estimativas são novamente realizadas, ponto a ponto.

A Média Padronizada (MS) encontrada foi de 0,0257, a Raiz Quadrada do Erro Médio Padronizado (RMSS) 0,87, o Erro Padrão Médio (ASE) corresponde a 11,5, e a Raiz Quadrada do Erro Médio (RMS) de 9,58. Os valores ideais de MS correspondem aos mais próximos de zero, para o RMSS os que se aproximam de 1, o ASE deve estar próximo dos valores de RMS, que devem ser os menores. O valor de ASE observado é maior do que o valor do RMS o que aponta para uma superestimativa da variabilidade dos valores estimados pelo modelo em 17,4%. Ao observar a validação cruzada para a krigagem ordinária dos resíduos é possível inferir que ocorreu um bom ajuste.

O variograma ajustado foi utilizado como base na krigagem ordinária gerado partir dos parâmetros do modelo exponencial ajustado pelo Mínimos Quadrados Ponderados (WLS). O mapa de krigagem ordinária oriundo dos resíduos para o volume  $m^3/ha$  para a Caatinga é mostrado na (Figura 10) expandindo as observações para os locais não amostrados.

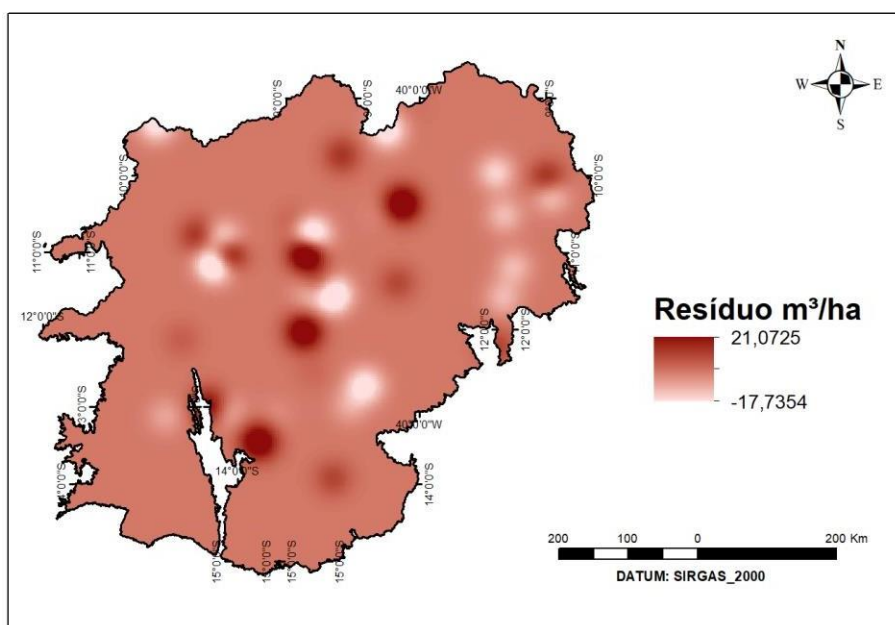


Figura 9- Mapa da krigagem ordinária dos resíduos ( $m^3/ha$ ) para a Caatinga Bahia.

A partir do mapa de distribuição espacial da resíduos é possível contratar que houve pouca variação dos valores estimados, não gerando nenhum viés para predição. Quando comparados com os valores encontrados com Silveira et al. (2019) esta pesquisa apresentou menores valores residuais.

De forma geral, a região central da Caatinga que está inserida as mesorregiões Centro sul e Norte, Vale do São Francisco e Nordeste apresentam focos pontuais de valores positivos dos resíduos, indicando que ocorreu a superestimativa da equação. A área central da Caatinga também apresentou estimativas negativas de valores residuais, como também áreas mais ao extremo do mapa, como é o caso de locais no Nordeste e Vale do São Francisco da Bahia. É possível observar que a krigagem ordinária dos resíduos apresentou um equilíbrio nos valores sub e superestimados (negativos e positivos respectivamente), desse modo, o mapa aponta para a adequabilidade do modelo para a predição do volume.

As observações expandidas para os locais não amostrados apresentam valores residuais em um intervalo de -1 a 2 mostrando que o modelo não apresentou uma variação de estimativas nesses locais. Um equilíbrio entre as sub e superestimativas significa que o modelo não dispõe de nenhum viés negativo que tendência as estimativas geradas. Os valores residuais encontrados são baixos, quando comparados com os valores estimados em trabalho para volumétrica do cerrado desenvolvido por Silveira et al. (2019) e Reis et al. (2020).

Em paralelo com este trabalho pesquisa desenvolvida por Mello et al. (2013), aplicando a técnica de krigagem com regressão para o mapeamento da erosividade da chuva na Suíça, comentam sobre este especto, ou seja, de que os resíduos necessitam apresentar uma distribuição espacial equilibrada, sem tendência, para que os resultados da krigagem com regressão possam ser os mais expressivos possíveis. O uso da geoestatística intensificou-se nos últimos anos, pela capacidade de identificar a correlação/dependência espacial entre dados de fenômenos naturais distribuídos espacialmente (GREGO et al., 2014). Sendo uma ferramenta importante na avaliação quantitativa e qualitativa os recursos naturais. Os fenômenos analisados podem ser florestais, geológicos, hidrológicos, biológicos e qualquer observação espacial com características que apareçam em certa estrutura de espaço e tempo, podendo esses

demonstrar correlação com outras métricas do ambiente (SOARES, 2006).

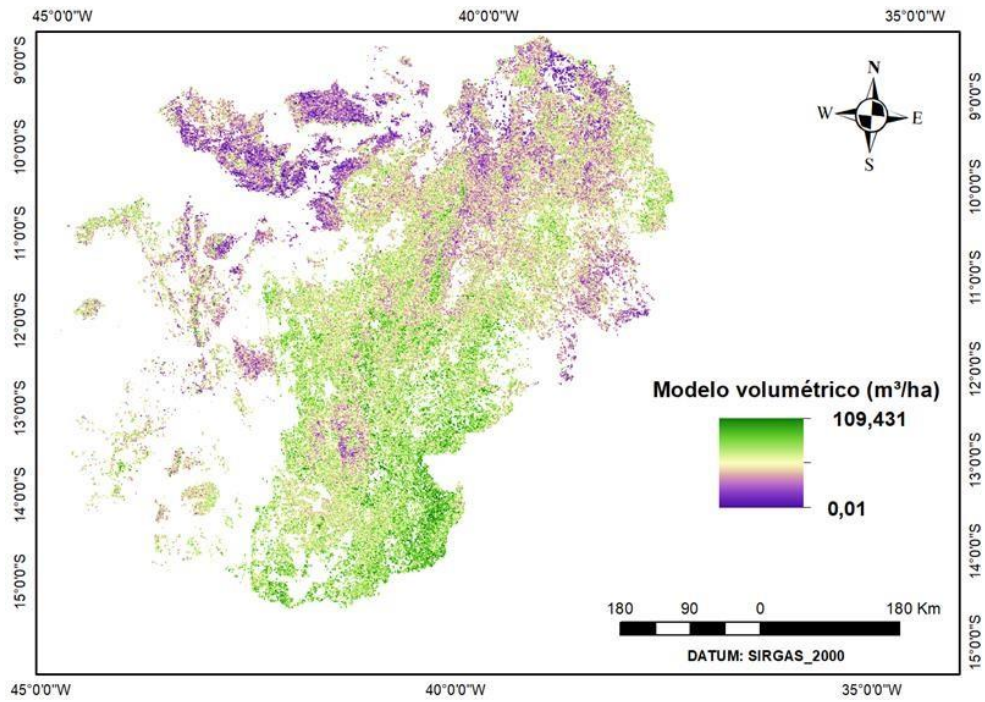
De acordo com Guedes et al. (2012), a utilização de um método estatístico que considere as relações espaciais existentes entre as características biométricas e variáveis ambientais é de fundamental importância para a melhoria das estimativas geradas pelo inventário florestal e outros trabalhos. É importante ponderar também que as contribuições da geoestatística vão para além do fornecimento de informações precisas. Mas, apresenta-se como uma ferramenta de gestão ambiental potente em diversos setores, dentre eles o manejo florestal.

Contudo, o conhecimento de aplicação de tais técnicas dentro do cenário de gestão de florestas nativas, ainda é pequeno. É possível traçar um paralelo, quando observados o contingente expressivamente maior de trabalhos científicos utilizados técnicas da geoestatística relacionado ao processo produtivo e gestão de culturas florestais (LUNDGREN et al., 2015; LUNDGREN et al., 2016; SANTOS et al., 2020; ROCHA et al., 2021; REIS et al., 2016; NUNES et al., 2020).

Portanto, os esforços de pesquisa e conhecimento sobre o uso de ferramentas geoestatísticas para espacialização das variáveis da vegetação de Caatinga na Bahia ainda é um desafio. Embora a heterogeneidade ambiental da área seja significativamente efetiva nos estoques de madeira, é importante gerar informações que condicionem novas pesquisas e trabalhos futuros para solidificar planos de manejo e conservação das áreas de vegetação de Caatinga na Bahia.

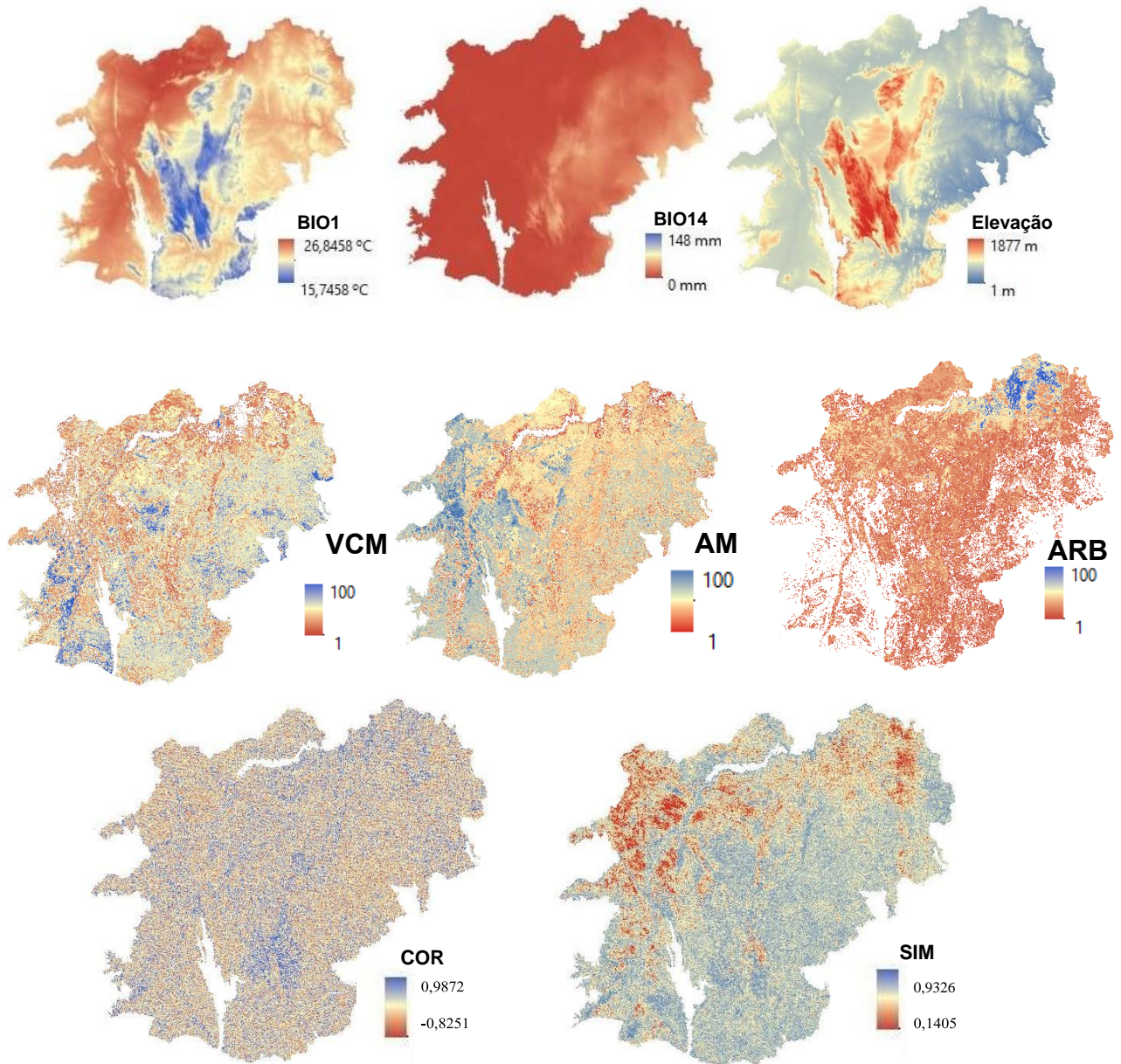
#### **6 5.4. Espacialização do modelo de regressão**

A mapa gerado pela aplicação do modelo volumétrico proveniente da equação geral apresenta uma distribuição com uma grande variação no estoque de volume demadeira para vegetação de Caatinga, com estimativas de 0,01 m<sup>3</sup>/ha a 109,431 m<sup>3</sup>/ha. A mesorregião correspondente ao Vale do São Francisco apresentou os menores aportes de volume, como indicado no mapa. Em tal local foram amostrados cidade como Sento Sé, Xique-Xique e Gentio do Ouro e Campo Alegre de Lurdes. A porção Nordeste e Centro Norte da Bahia também apresentou valores baixos de volume de madeira para a maioria das áreas que compreendem essas regiões. Os locais com maiores concentrações de volume de madeira, evidenciados no mapa, se encontram disposto na região Centro Norte e parte do Centro Sul (Figura 11).



**Figura 10-** . Mapa dos valores de volume de madeira <sup>3</sup>/ha, estimados pelo modelo ajustado na análise de regressão linear múltipla.

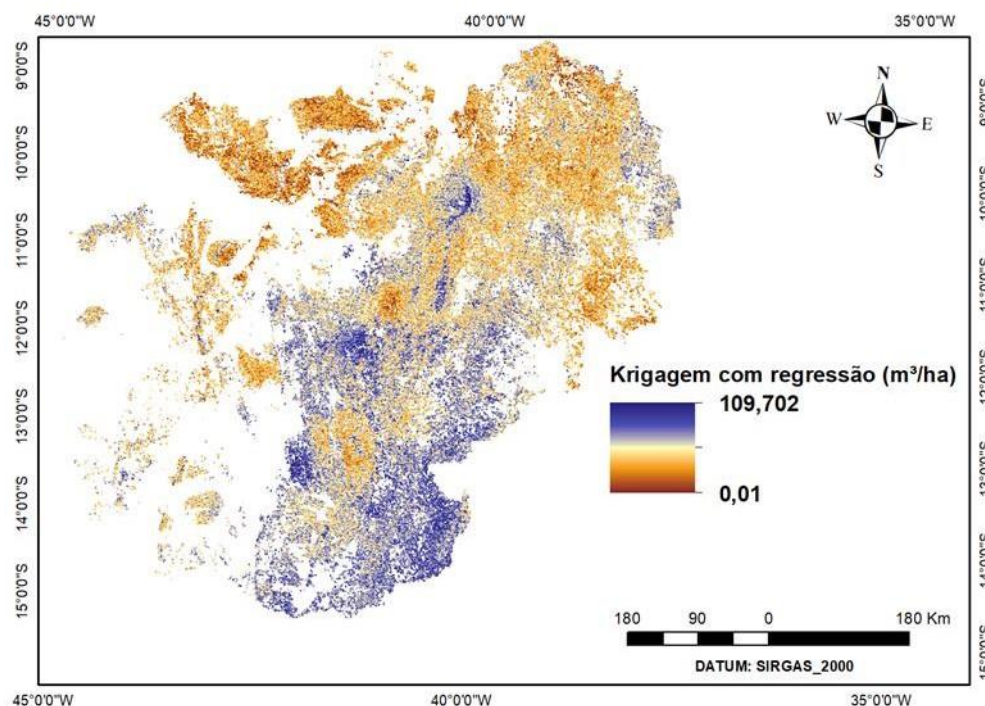
A figura 12 apresenta as 8 covariáveis especializadas para a Caatinga na Bahia, aos quais, foram utilizadas neste estudo para a gera o modelo volumétrico. Sendo bio1 (Temperatura média anual) bio14 (Precipitação do mês mais seco), a elevação, VCM (Vegetação Cultivada e Manejada), AM (Árvores mistas), ARB (Arbustos), cor (Correlação) e sim (Índice de Simpson).



**Figura 11-** Covariáveis utilizadas no modelo volumétrico (m<sup>3</sup>) para a Caatinga.

O mapa resultante da distribuição do estoque volumétrico da vegetação de Caatinga, gerado a partir da técnica híbrida da krigagem com regressão é mostrado na Figura 13.





**Figura 12-** Mapa dos valores interpolados do estoque do volume de madeira da vegetação do bioma Caatinga, Bahia.

A krigagem com regressão estimou valores de volume  $m^3/há$  que variou de  $0,01m^3$  a  $109,702m^3$ . A soma da krigagem dos resíduos ao modelo de regressão, pouco promoveu alterações as estimativas realizadas pelo modelo. A distribuição do volume de madeira presente neste trabalho está vinculada a diversos fatores, como: condições edafoclimáticas, variabilidade fisionômica na vegetação, ações antrópicas como também a densidade populacional e renda para o contexto da Caatinga.

Segundo classificação do IBGE (2019) as tipologias da Caatinga para o estado da Bahia subdividem-se, em: Savana Estépica, Floresta Estacional Decidual, Savana, Floresta Estacional Semidecidual e uma pequena porção de Floresta Densa, Áreas de Tensão Ecológica e Formação pioneira. A Savana Estépica que compreende maior parte da Caatinga na Bahia, é uma tipologia estacional, com presença de árvores e arbustos em um mosaico que não exalta a dominância das formações arbóreas. As Florestas Estacionais Semi e Decidual são condicionadas pelas estações climáticas que promove a decidualidade parcial ou integral da folhagem e podem indicar um efeito no

estoque de volume devido aos diferentes níveis de capacidade fotossintética. As temperaturas mais baixas em torno de 15°C ocorrem em pequenas áreas centrais do centro norte, sul e nordeste. A vegetação da Caatinga é marcada pela sazonalidade climática, com isso observação da média da precipitação média do mês mais seco é importante, logo que a mesma soma para construção do modelo volumétrico. A temperatura média anual mais elevada é de aproximadamente 26°C e está presente na maior porção da área da Caatinga, concentrando-se as áreas marginais. A maioria da área em estudo não registrou chuvas para o período observado, uma pequena porção apresentou índices até 30 mm e uma ainda menor de 55 mm, essas áreas correspondem a uma parcela pequena no centro sul e norte e nordeste do estado.

A elevação, outra métrica importante neste estudo aponta para áreas localizadas no centro sul e norte da Bahia com maiores elevações (até 1.606 m), os menores valores observados encontram-se nas áreas mais iniciais do centro norte, sul e norte (até 287mm), uma vez que são áreas mais próximas da região costeira do estado. A predominância da elevação fica em torno de até 500 m.

A precipitação na Caatinga diminui no sentido bordas/interior, visto que as massas de ar perdem umidade à medida que penetram na região. Essas frentes entram no continente e são modificadas pela diferença de altitude que, apesar de pequena (picos mais altos entre 400 e 500 m, podendo alcançar 1000 m em locais específicos), cria um microclima mais úmido nos locais onde o relevo intercepta essas frentes, e mais seco a sota vento (SAMPAIO, 1995).

Segundo Marques et al. (2014), para a Embrapa os tipos de solos que ocorrem maiores proporções na área da Caatinga Baiana são Latossolos e Neossolos Tais formações apresentam características bem opostas. O Latossolo é uma formação bem desenvolvida, profunda e com drenagem no horizonte B latossólico, configurando boa capacidade de armazenamento de água que ajuda no desenvolvimento lenhoso das plantas e, portando, também para sustentação de vegetação de maior porte. Pode-se observar maiores ocorrências deste solo, em áreas do Vale do São Francisco, Centro Norte e Sul e Nordeste da Bahia. Em contrapartida, o Neossolo constitui-se de minerais pouco desenvolvidos com

ausência do horizonte B, em geral apresentam-se rasos e pedregosos, com alta fertilidade para a vegetação que apresenta um porte de médio a pequeno. Para a agricultura é em suma inadequado. Concentra-se no Centro Sul e Norte do estado.

A escassez hídrica apresenta-se como uma questão pertinente no semiárido do Nordeste, com isso a alocação de famílias margeando o rio São Francisco é bastante intensa. Em conjunto com essas ocupações estão as práticas agrícolas e de pastagem desenvolvidas pela população. Tal situação explica os baixos valores de volume  $m^3/ha$  encontrados, de forma mais acentuada no Vale do São Francisco e Extremo Oeste baiano.

As covariáveis correlação e Índice de Simpson são parâmetros ecológicos importantes retirados da vegetação, e apresentam informações sobre a dinâmica e estrutura vegetacional. Neste estudo, a correlação apresentou-se de modo bem difusa na área da Caatinga, não demonstrando nenhum gradiente de crescimento e/ou decréscimo. O Índice de Simpson apresentou uma alta probabilidade de os indivíduos vegetais serem na mesma espécie em uma porção predominante da área, indicando uma dominância dentro da comunidade. Uso dessas covariáveis permitiu um maior refinamento dos resultados, e maior acurácia.

As questões socioeconômicas afetam o estoque de volume. Devido à baixa renda da maioria desses habitantes e, portanto, a maior dependência pelos recursos da Caatinga (ALBUQUERQUE et al, 2017). Sendo uma das regiões de maior densidade populacional do mundo (QUEIROZ et al., 2017), onde vivem cerca aproximadamente 28,6 milhões de pessoas em uma área de 912.529  $km^2$  (GARIGLIO et al., 2010; MELO, 2017).

O IDH é balizado por 4 métricas: Produto Interno Bruto (PIB) per capita, expectativa de vida, e taxa de alfabetização de pessoas com 15 anos ou mais e taxa de matrícula bruta nos três níveis de ensino. A Bahia em 2000 apresentou um IDH igual a 0,688 e de 0,742 em 2005, portanto, e de 0,660 em 2010 último censo realizando, evidenciando um médio IDH. Tais estimativas incidam que grandes avanços precisam ser feitos para alcançar um desenvolvimento adequado na região (BARBOSA, 2007; IBGE, 2022). É importante ressaltar que tais dados é um panorama geral da região Nordeste e da Bahia, que não está exclusivamente

ligado a vegetação de Caatinga.

A desertificação constitui-se numa questão socioambiental. A região semiárida Bahia apresenta significativa propensão para tal processo, pois a irregularidade das chuvas e os longos períodos de estiagens colaboram para o aparecimento de áreas que se encaminham para desertificação. O processo de desertificação no semiárido brasileiro, e particularmente na Bahia, é reflexo dos fenômenos das secas prolongadas, chuvas irregulares e escassas, além do uso incorreto dos recursos e das práticas agrícolas (BARBOSA, 2007).

Todos esses fatores interligados regulam a disponibilidade e estoque volumétrico na Caatinga. Sendo uma formação florestal complexa e com muitas particularidades, a caatinga é um campo vasto e sub explorado para estudos científicos e emprego de técnicas como a geoestatística. Estudos como esses se propõe a provocar outras iniciativas científicas, que possam ser aplicadas, a fim de promover um manejo florestal sustentado da Caatinga, em conformidade com o desenvolvimento socioeconômico da região.

## **6. CONCLUSÕES**

A variável volume apresentou boa correlação com variáveis bioclimáticas, de cobertura do solo e heterogeneidade do habitat. Assim, o ajuste de modelo de regressão linear volumétrico a partir de variáveis geoespaciais apresentou uma acurácia razoável para a vegetação de Caatinga;

O emprego da geoestatística associada modelagem estatística apresenta-se como um método promissor para a avaliação do estoque volumétrico da vegetação da Caatinga, possibilitando assim, ações mais estruturadas sobre a gestão das florestas.

## 7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J.C.D. **Alternativas para estimar o volume de árvores individuais em formações florestais no estado de Minas Gerais**. Visoça-MG: UFV, 2019, 82p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Visoça.
- ACCIOLY, L. J. D. O.; PACHÊCO, A.; COSTA, T. C.; LOPES, O. F.; DE OLIVEIRA, M. A. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/Landsat. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 6, 492-498. 2002.
- ALBUQUERQUE, U. P.; DE LIMA ARAÚJO, E.; DE CASTRO, C. C.; ALVES, R. R. N. People and natural resources in the Caatinga. In: Caatinga. **Springer**, Cham. p. 303-333, 2017.
- ALMEIDA, A.Q.; MELLO, A.A.; DÓRIA NETO, A. L.; FERRAZ, R. C. Relações empíricas entre características dendrométricas da Caatinga brasileira e dados TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 49(4), 306-315, 2014.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ALVES, J. J. A.; DE ARAÚJO, M. A.; DO NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, 22.3: 126-135, 2009. AMORIM, I.L.; SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO, E.L. Flora e estrutura da vegetação arbustiva-arborea de uma área de Caatinga do Sertão, RN, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 615-623, 2005.
- ANDRIOTTI, J.L.S. Fundamentos de estatística e geoestatística. Editora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). **Coleção Manual Universitário. São Leopoldo/RS. 1ª reimpressão**. 2005. 165p.
- APNE – Associação Plantas do Nordeste. **Estatística Florestal da Caatinga**. Recife:PE. v.2, 2015.
- ARAÚJO, E.L.; ALBUQUERQUE, U.A.; CASTRO, C.C. Dynamics of the Brazilian Caatinga – a revision concerning the plants, environments and people. **Functional**

**Ecosystems and communities**, v.1, p.15-29, 2007.

ARAÚJO, L.V.C. **Composição florística, fitossociológica e influência dos solos na estrutura da vegetação em uma área de Caatinga no semiárido paraibano**. Areia-PB: UFPB, 2007. 121p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba.

ARAÚJO, S.M.S. A região semiárida do nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Revista Científica da FASETE**, Paulo Afonso, v.5, p.89-98, 2011.

ArcGIS 10.9. (2015) GIS Software. ESRI, New York.

BARBOSA, F. N. Dinâmica Territorial e Populacional no Semi-árido Brasileiro: Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) das Áreas Propensas à Desertificação. **Movilidadde la población e identidad cultural**. 2007.

BARNI, P.E.; MANZI, A.O.; CONDÉ, T.M.; BARBOSA, R.I.; FEARNSSIDE, P.M. Spatial

distribution of forest biomass in Brazil's state of Roraima, northern Amazonia.

**Forest Ecology and Management**, v. 377, p. 170-181, 2016.

BARRETO, W.F.; LEÃO, F.M.; MENEZES, M.C.; SOUZA, D.V. Equação de volume

para apoio ao manejo comunitário de empreendimento florestal em Anapu, Pará.

**Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 321-329, 2014.

BARRETO, J.; SALOMÃO, R.P.; IANNUZZI, L. Diversity of dung beetles in three vegetation physiognomies of the Caatinga dry forest. **International Journal of Tropical Insect Science**, 40, 385–392, 2019.

BARROS, P.L.C.; SILVA JÚNIOR, A. T. Equação de volume para árvores de uma floresta tropical densa no município de Anapu, oeste do estado do Pará, Amazônia oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 51, n. 1, p. 115-126, 2009.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. DO; SILVA FILHO, D. F. DA. Quantificação de

recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas. 1. ed. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2014.

CÂMARA, C.; MONTEIRO, A.M.; FUCKS, S.D.; CARVALHO, M.S. Análise espacial

de dados espaciais. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**. São José dos Campos, SP, 2002.

CAMARGO, E.C.G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Orgs. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 1998.

CAMARGO, E.C.G.; FUCKS, S.D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**. São José dos Campos, SP. 2002.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN,

D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 470p, 2006.

CANTALICE, J.R.B.; BEZERRA, S.A.; FIGUEIRA, S. B.; INÁCIO, E.D.S.B.; DE

OLIVEIRA SILVA, M.D.R. Linhas isoerosivas do estado de Pernambuco-1ª aproximação. **Revista Caatinga**, 22(2), 75-80, 2009.

CARDOSO, B. M. **Uso da biomassa como alternativa energética**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2012.

CARVALHO, T. M. Modelagem digital de atributos de solo da Fazenda Edgárdia– Botucatu – SP. 145 f. 2016. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

CASTILLO-SANTIAGO, M.A.; RICKER, M.; DE JONG, B.H.J. Estimation of tropical

forest structure from SPOT-5 satellite images. **International Journal of Remote Sensing**, 31(10), 2767-2782, 2010.

COMITÊ TÉCNICO CIENTÍFICO DA REDE DE MANEJO FLORESTAL DA

CAATINGA. **Rede de Manejo Florestal da Caatinga**: protocolo de medições de parcelas permanentes. Recife: Associação Plantas do Nordeste, 2005. 21 p.

CUNHA, L.H.; BRANQUINHO NUNES, A.M. Proteção da natureza e conflitos ambientais em assentamentos rurais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v.18, p.27-38, 2008.

da ROCHA, P. V., DE ARAÚJO, E. J. G., MORAIS, V. A., MONTE, M. A., DOS

SANTOS ATAÍDE, D. H., & SILVA, L. C. Site index in eucalyptus stands applying ordinary kriging: an approach with different models and methods of classification. **FLORESTA**, 51(4), 971-979. 2021.

da SILVA GOMES, D.; DOS SANTOS, S. K.; SILVA, J. H. C. S.; DE MEDEIROS, T.;

SANTOS, E. D. V. S.; DA SILVA BARBOSA, A. CO<sub>2</sub>flux e temperatura da superfície edáfica em áreas de Caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 14(04), 1898-1908. 2021.

da SILVA, J. M. C., LEAL, I. R., & TABARELLI, M. (Eds.). **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America**. Springer, 2018.

da SILVA, S. T. **Espacialização do Volume de Madeira no Cerrado Sensu Strictu em Minas Gerais**. Lavras-MG. UFLA, 2014, 99p. Dissertação (Engenharia Florestal)

- Universidade Federal de Lavras.

de OLIVEIRA, R.P.; GREGO, C. R.; BRANDÃO Z. N. Geoestatística Aplicada Na Agricultura De Precisão Utilizando O Vesper. **Editores Técnicos**. Embrapa. Brasília-DF, 2015.

de QUEIROZ, L. P., CARDOSO, D., FERNANDES, M. F., MORO, M. F. Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga domain. In *Caatinga* (pp. 23-63).

**Springer**, Cham. 2017.

de QUEIROZ, L. P.; CARDOSO, D.; FERNANDES, M. F.; MORO, M. F. Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga domain. In *Caatinga* (pp. 23-

63).

**Springer**, Cham. 2017.

de SOUSA SANTOS, W.; HENRIQUES, I.G.N.; de SOUSA SANTOS, W.; RAMOS, G.G.; dos SANTOS VASCONCELOS, G.; VASCONCELOS, A.D. M. Análise florística-

fitossociológica e potencial madeireiro em área de Caatinga submetida a manejo florestal. **Agropecuária Científica no Semiárido**, 13(3), 203-211, 2017.

DEBASTIANI, A. B.; MOURA, M. M.; REX, F. E.; SANQUETTA, C. R., DALLA CORTE,

A. P.; PINTO, N. Regressões robusta e linear para estimativa de biomassa via imagens sentinel em uma floresta tropical. **BIOFIX Scientific Journal**, 4(2), 81-87. 2019.

DESTAN, S.; YILMAZ, O.Y.; SAHIN, A. Making objective forest stand maps of mixed managed forest with spatial interpolation and multi-criteria decision analysis. **IForest**, 6, 268-277, (2013).

dos REIS, A. A., DE SOUZA DINIZ, J. M. F., JÚNIOR, F. W. A., DE MELLO, J. M.,

BATISTA, A. P. B., & FILHO, A. C. F. Modeling the spatial distribution of wood volume in a Cerrado Stricto Sensu remnant in Minas Gerais state, Brazil. **Scientia Forestalis**, 48(125). 2020.

DOS SANTOS ATAÍDE, D. H.; DE ARAÚJO, E. J. G.; MONTE, M. A., DE MENDONÇA, B. A. F., SILVEIRA, C. E., ALBUQUERQUE, A. M., & SILVA, L. C.

Métodos geoestatísticos e determinísticos na espacialização da altura dominante em povoamento de eucalipto. **Revista de Ciências Agrárias**, 43(1), 98-108. 2020.

dos SANTOS ATAÍDE, D.H.; de ARAÚJO, E.J.G.; MONTE, M.A.; de MENDONÇA, B.A.F.; SILVEIRA, C.E.; ALBUQUERQUE, A.M.; SILVA, L.C. Métodos geoestatísticos e determinísticos na espacialização da altura dominante em povoamento de eucalipto. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. 1, p. 98-108, 2020.

DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2. ed. New York: John Wiley and Sons, 1980. 709 p.

DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. Análise Espacial

de Dados Geográficos. **Brasília: EMBRAPA**, 2004.

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. 2010. Arcgis

Desktop: Release 10.1. Redlands, CA: Esri. 2010.

FERNANDES, M.F.; QUEIROZ, L.P. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e cultura**, v. 70, n. 4, p. 51-56, 2018.

FERREIRA, Í. O.; SANTOS, G. R. DOS; RODRIGUES, D. D. Estudo sobre a utilização adequada da krigagem na representação computacional de superfícies batimétricas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 5, n. 65/5, 2013.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International journal of climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017.

FICK, S.E.; HIJMANS, R.J. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate



surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v.37, n.12, p.4302-4315, 2017.

FIGUEIREDO FILHO, D.; NUNES, F., DA ROCHA, E. C.; SANTOS, M. L.; BATISTA,

M.; SILVA JÚNIOR, J. A. O que fazer e o que não fazer com a regressão: pressupostos e aplicações do modelo linear de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). **Revista Política Hoje**, 20(1). 2011.

GALEANA-PIZAÑA, J.M.; LÓPEZ-CALOCA, A.; LÓPEZ-QUIROZA, P.; SILVÁN-

CÁRDENASA, J.L.; COUTURIER, S. Modeling the spatial distribution of above-ground carbon in Mexican coniferous forests using remote sensing and a geostatistical approach. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 30, 179-189, 2014.

GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. D. S.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y.

**Uso**

**sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. 2010

GARIGLIO, M.A.; SAMPAIO, E.V.S.B.; CESTARO, L.A.; KAGEYAMA, P.Y.

**Uso**

sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga. 1. ed. Brasília: **7 Serviço Florestal Brasileiro**, 2010.

GIODA, A. Características e procedência da lenha usada na cocção no Brasil. **Estudos Avançados**, 33(95), 133-150, 2019.

GOMES J.J.; TOLEDO FILHO R.D.; NASCIMENTO J.W.B.; SILVA V.R.; NÓBREGA

M.V. Características tecnológicas da *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. e alternativas para uso racional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 11(5): 537– 542, 2007.

GÓMEZ, C.; WULDER, M.; MONTES, F.; DELGADO, J.A. Modeling Forest structural parameters in the Mediterranean pines of Central Spain using QuickBird-2 imagery and Classification and Regression Tree Analysis (CART). **Remote Sensing**, 4(1), 135-159, 2012.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P. de; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A.

V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, Embrapa, cap. 5, p. 74-83, 2014.

GUEDES, I. C. D. L.; MELLO, J. M. D.; MELLO, C. R. D.; OLIVEIRA, A. D. D.; SILVA,

S. T. D.; SCOLFORO, J. R. S. Técnicas geoestatísticas e interpoladores espaciais na estratificação de povoamentos de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, 22, 541-550. 2012.

GUEDES, I.C.L.; MELLO, J.M.; SILVEIRA, E.M.O.; MELLO, C.R.; REIS, A.A.; GOMIDE, L.R. Continuidade espacial de características dendrométricas em povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. avaliada ao longo do tempo. **Cerne** 21: 527- 534, 2015.

HAIR, J.F.; BLACK, W. C.; BARRY, J. B.; ANDERSON, E. J.; TATHAM, R. L. **Análise**

**multivariada de dados.** 6. ed. Porto Alegre, Brasil: Bookman, 2009.

HENGL, T.; REUTER, H. I. Geomorphometry: Concepts, software, applications. Developments in Soil Science. Amsterdam: **Elsevier**, 2009, 765p.

HORNBURG, A. Avaliação em Massa de Imóveis usando Regressão Espacial e Krigagem Bayesiana (um estudo de caso em Balneário Camboriú/SC). **Revista eletrônica de Engenharia Civil**, volume 13, nº 1, 2017.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Manejo florestal sustentado da Caatinga. Brasília: **Serviço Florestal Brasileiro**. 27p, 2009.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

**Biomass e**

**sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000.** Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos ambientais, 168 p, 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

**Brasil/Bahia.**

Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba>. Acessado em: 02 de jan. de 2022. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

**Produção de**

**Extração Vegetal e da Silvicultura.** Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 20 de nov. de 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

**Território.**

Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Acesso em: 02 de fev. de 2022.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da**

**Extração Vegetal e da Silvicultura** – PEVS – series históricas. 2018. Disponível em:

<[https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-](https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=series-historicas)

[pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=series-historicas](https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=series-historicas)>. Acesso em: 19 nov.2020.

ICMBIO - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE.

**Sumário Executivo do Plano de Ação Nacional para a Conservação do Tatu-Bola. 2014.** Disponível em:

<https://www.icmbio.gov.br/portal/faunabrasileira/plano-de-acao-nacional-lista/4808-plano-de-acao-nacional-para-conservacao-do-tatu-bola>.

Acesso em: 10 de nov. de 2020.

JOURNAL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining Geostatistics**. London: Academic Press. 1978. 600 p.

KESTRING, F. B. F.; GUEDES, L. P. C.; BASTIANI, F.; URIBE-OPAZO, M. A.

Comparação de mapas temáticos de diferentes grades amostrais para a produtividade da soja. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 35, n. 04, p. 733-743, 2015.

KRIGE, D.G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa**, v.52, p.119-139, 1951.

KRUEGER, J. S.; LEWIS-BECK, M. S. Is ols dead?. **The Political Methodologist**, 15(2), 2008. 2-4..

LANDIM, P.M.B. Sobre geoestatística e mapas. **Terrae Didactica**, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.

LANDIM, P.M.B.; STURARO, J.R; MONTEIRO, R.C. Krigagem ordinária para situações com tendência regionalizada. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. **Geomatemática, Texto Didático** 06, 12 pp. 2002.

LANSSANOVA, L.R.; SILVA, F.A.; SCHONS, C.T.; PERERIRA, A.C.D.S. Comparação

entre diferentes métodos para estimativa volumétrica de espécies comerciais da Amazônia. **BIOFIX Scientific Journal** v. 1, n. 1, p 109-115, 2018.

LOETSCH, F.; ZÔHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory. Munich: BLV**, 469 p, 1973.

LUNDGREN, W. J. C.; SILVA, J. A. A. D.; FERREIRA, R. L. C. Estimação de volume

de madeira de eucalipto por cokrigagem, krigagem e regressão. **Cerne**, 21, 243-250. 2015.

LUNDGREN, W. J. C.; SILVA, J. A. A. D.; FERREIRA, R. L. C. Influência do tipo de

amostragem na estimativa de volume de madeira de eucalipto por krigagem. **Florestae Ambiente**, 23, 511-523. 2016.

LUNDGREN, W.J.C.; SILVA, J.A.A.D.; FERREIRA, R.L.C. Estimação do Volume de

Eucaliptos por Krigagem e Cokrigagem no Semiárido Pernambucano. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 0-0, 2018.

LUZ, L. R.; GIONGO, V.; SANTOS, A. M. D.; LOPES, R. J. D. C.; JÚNIOR, C. D. L.

Biomass and vegetation index by remote sensing in different Caatinga forest areas.

**Ciência Rural**, 52. 2021.

Luz, L.R.Q.P.; Lima, P.C.; Reis, R. M. G.; Barros, A. H. C. Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco. Recife: Embrapa Solos/UEP Recife; **Embrapa Solos-Séries anteriores (INFOTECA-E)**, 2000.

MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: Unicentro. 316p, 2009.

MARQUES, F.A.; NASCIMENTO, A.F.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SILVA, A.B. Solos do

Nordeste. Recife: **Embrapa Solos**, 8p, 2014.

MASOTA, A.M.; ZAELABU, E.; MALEMBWI, R.E.; BOLLANDSÂS, O. M.; Eid, T.H.

Volume models for single trees in tropical rainforests in Tanzania. **Journal of Energy and Natural Resources**, v. 3, n. 5, p. 66-76, 2014.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v.58, p.1246-1266, 1963.

MEDEIROS NETO, P.N.; OLIVEIRA, E.; PAES, J.B. Relações entre as características da madeira e do carvão vegetal de duas espécies da Caatinga. **Floresta e Ambiente**, v.21 n.4. p. 484-493, 2014.

Mello, C. R. D.; Viola, M. R). Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37, 37-44. 2013.

MELLO, C.R. **Hidrologia: Princípios e Aplicações**. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.

MELLO, J.M. de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**.

Piracicaba-SP, USP, 2004, 111p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GIONGO, V.; PÉREZ-MARIN, A. M.

Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 3, p. 643-653, 2012

MENG, Q.; CIESZEWSKI, C.; MADDEN, M. Large area forest inventory using Landsat ETM+: a geostatistical approach. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 64(1), 27-36, 2009.

MIGUEL, E.P.; REZENDE, A.V.; LEAL, F.A.; MATRICARDI, E.A.T.; VALE, A.T.;

PEREIRA, R.S. Redes neurais artificiais para a modelagem do volume de madeira e biomassa do cerrado com dados de satélite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50(9), 829-839, 2015.

MMA - Ministério do Meio Ambiente, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Biomassa para energia no Nordeste: atualidade e perspectivas**. Brasília, DF. 161p, 2018.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Unidades de Conservação por Bioma**.

Brasília: MMA, 2020. Disponível em:

<<https://www.mma.gov.br/areasprotegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-consolidados.html>>. Acesso em: 23 dez. 2020.

MORAIS, V.A.; MELLO, J.M.; MELLO, C.R.; SILVA, C.A.; SCOLFORO, J.R.S. Spatial

distribution of the litter carbon stock in the Cerrado biome in Minas Gerais state, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 5, p. 580-589, 2017.

NDAGIJIMANA, C.; PAREYN, F.G.C.; RIEGELHAULT, E. Uso do solo e

desmatamento da Caatinga: um estudo de caso na Paraíba e no Ceará - Brasil.

**Estatística Florestal da Caatinga**, Recife, v.2, p.18-29, 2015.

NETER, J., KUTNER, M. H., NACHTSHEIM, C. J. E WASSERMAN, W. 'Applied linear

statistical models', **Irwin Chicago**. 2008, 25.

NUNES, Í. L.; LEITE, E. D. S.; LIMA, R. D. J.; MINETTE, L. J., SCHETTINO, S.;

DE

SOUZA, A. P. Variabilidade espacial de clones de Eucalipto em função do preparo desolo e adubações. **Brazilian Journal of Development**, 6(3), 12334-12349. 2020.

OMUTO, C. T.; VARGAS, R. R. Re-tooling of regression-kriging in R for improved digital mapping of soil properties. **Geosciences Journal**, v. 19, n. 1, p. 157-165, 2015. PAES, J.B.; LIMA, C.R.; OLIVEIRA, E.; MEDEIROS NETO, P.N. Características físico-

química, energética e dimensões das fibras de três espécies florestais do semiáridobrasileiro. **Floresta e Ambiente**, v.20, n.4, p.550-555, 2013.

PALMER, D.J.; HÖCK, B.K.; KIMBERLEY, M.O.; WATT, M.S.; LOWE, D.J.; PAYN,

T.W. Comparison of spatial prediction techniques for developing Pinus radiata productivity surfaces across New Zealand. **Forest Ecology and Management**, 258(9), 2046-2055, 2009.

PAREYN, F.G.C. Os recursos florestais nativos e a sua gestão no estado de Pernambuco – o papel do manejo florestal sustentável. In: GARIGLIO, M. A. et al. (Org.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro**, p. 99-112, 2010.

PELLISSARI, A.L.; FIGUEIREDO FILHO, A.; CALDEIRA, S.F.; MACHADO, S.D. A

Geoestatística aplicada ao manejo de povoamentos florestais de teca, em períodos pré-desbaste seletivo, no estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 32, n. 3, p. 430-444, 2014.

PEREIRA, J.E.S.; BARRETO-GARCIA, P.A.B.; PAULA, A.D.; LIMA, R.B.D.; CARVALHO, F.F.D.; NASCIMENTO, M.D.S.; ARAGÃO, M.D. Form quotient in

estimating Caatinga tree volume. **Journal of Sustainable Forestry**, p. 1-10, 2020. PONZONI, F.J.; PACHECO, L.R.F.; SANTOS, S. B.; ANDRADES FILHO, C.O.

Caracterização espectral-temporal de dosséis de Eucalyptus spp. mediante dados

radiométricos TM/Landsat 5. **Cerne**, 21(2), 267-275, 2015.

PRADO, D.E. As Caatingas da América do Sul. In: LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA,

J.M.C. (Eds.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 3-74, 2003.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Áustria. 2020. Disponível em: RAJASHEKAR, G.; FARARODA, R.

REIS, A. A. D., MELLO, J. M. D., RAIMUNDO, M. R., ACERBI, F. W., OLIVEIRA, M.

S. D., & DINIZ, J. M. F. D. S. Estratificação de um povoamento de eucalipto por interpoladores geoestatísticos e sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51, 1751-1761. 2016.

REZENDE, A.V.; VALE, A.T.; SANQUETTA, C.R.; FIGUEIREDO-FILHO, A.; FELFILI,

J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, 71, 65-76, 2006.

RIBEIRO, R.B.S.; GAMA, J.R.V.; MELO, L. O. Seccionamento para cubagem e escolha de equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 305 - 612, 2014.

RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F.G.C. A questão energética. **CAATINGA**, 2010. RODRIGUES, M. S.; CASTRIGNANÒ, A.; BELMONTE, A.; SILVA, K. A. D.; LESSA, B. F. D. T. Geostatistics and its potential in Agriculture 4.0. **Revista Ciência Agrônômica**, 51. 2021.

ROLIM, S.G; COUTO, H.D.; JESUS, R.D.; FRANÇA, J.T. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazônica**, v.36, n. 1, p. 107-114, 2006.

SALAZAR, A.A.; ARELLANO, E.C.; MUÑOZ-SÁEZ, A.; MIRANDA, M.D.; OLIVEIRA DA SILVA, F.; ZIELONKA, N.B.; CROWTHER, L.P.; SILVA-FERREIRA, V.; OLIVEIRA-REBOUCAS, P.; DICKS, L.V. Restoration and Conservation of Priority Areas of Caatinga's Semi-Arid Forest Remnants Can Support Connectivity within an Agricultural Landscape. **Land**, v. 10, n. 6, p. 550, 2021.

SAMPAIO, E. V. B. Overview of the Brazilian Caatinga. **Seasonally Dry Tropical Forests**, p. 35–63, 1995.

SÁNCHEZ, A.S.; ALMEIDA, M.B.; TORRES, E.A.; KALID, R.D.A.; COHIM, E.; GASPARATOS, A. Alternative biodiesel feedstock systems in the Semiarid region of Brazil: Implications for ecosystem services. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 81, 2744-2758p, 2018.

SANTOS, M.M.; MACHADO, I.E.S.; CARVALHO, E.V.; VIOLA, M.R.; GIONGO, M. Estimativa de parâmetros florestais em área de Cerrado a partir de imagens do sensorOLI Landsat 8. **Floresta**, v. 47, n.1, p.75-83, 2017.

SANTOS, S. C. J.; GOMES, L. J. Consumo e procedência de lenha pelos estabelecimentos comerciais de Aracaju-SE. **Revista da Fapese**, Aracaju, v.5, p.155-64, 2009.

SCOLFORO, H. F. **Interpoladores espaciais na estimativa da distribuição do estoque de carbono da vegetação arbórea em Minas Gerais, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014. SCOLFORO, H.F.; SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, C.R.; MELLO, J.M.; FERRAZ FILHO, A.C. Spatial distribution of aboveground carbon stock of the arboreal vegetation in Brazilian biomes of Savanna, Atlantic forest and Semi-arid Woodland. **PLoS One**, 10(6), 1-20, 2015.

SCOLFORO, H.F.; SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M.; MELLO, C.R.; MORAES, V.A. Spatial interpolators for improving the mapping of carbon stock of the arboreal vegetation in Brazilian biomes of Atlantic forest and Savanna. **Forest Ecol Manag** 376:24-35, 2016.

SCOLFORO, J, R, S.; MELLO, J, M.; OLIVEIRA, A, D. **Inventário florestal de Minas Gerais: Cerrado, florística, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal**. Lavras: UFLA, 216 p.2008.

SENA, K.K.K.; CAMPOS, P.S.S.; RODRIGUES, H.C.T.; CHASE, O.A.; MARQUES, G.T.; MORAES, R.I.R.; MORAIS, E.C.; SANTOS JÚNIOR, P.C.; SOARES, J.A.C.;

GALATE, R.S. Análise geoestatística em povoamento de floresta nativa no município de Paragominas - Pará. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 18695-18713, 2019.

SENA, L.M.M. Conheça e conserve a Caatinga - O Bioma Caatinga. **Fortaleza: Associação Caatinga**, 1, 2011.

SFB - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Manual de campo: procedimentos para a coleta de dados biofísicos e socioambientais. Belém: **Edufra**. 441 p. 2012.

SFB - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF**. Brasília, 2019. Disponível em: < <http://snif.florestal.gov.br/pt-br/>>. Acesso em: 10 Out. de 2020.

SILVA, A.M.N.D.; ALBUQUERQUE, J.D.L.; SILVA, E.S.D.; SANTOS FILHO, D.D.;

BARBOSA, W.B. A biomassa florestal (lenha) como insumo energético para os artesãos 126 da cidade de Tracunhaém/PE. **Custos e Agronegócio**, Recife, v.4, p.1-9, 2008.

SILVEIRA, E.M.O.; REIS, A.A.; TERRA, M.C.N.S.; WITHEY, K.D.; MELLO, J.M.; ACERBI-JÚNIOR, F.W.; FERRAZ FILHO, A.C.; MELLO, C.R. Spatial distribution of

wood volume in Brazilian savannas. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 4, p. 1-12, 2019.

SINGH, S.P. Chronic disturbance, a principal cause of environmental degradation in developing countries. **Environmental conservation**, v. 25, n. 1, p. 1-2, 1998.

SOARES, A. **Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente**. 2th ed. Lisboa: Coleção Ensino da Ciência e da Tecnologia. 2006.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A.L. **Dendrometria e inventário florestal**. 2 ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011. 272p.

SOARES, D. G.; PAREYN, F. G.; MEUNIER, I. M. J.; CABRAL, E.; NOGUEIRA, B.

Rendimento de dois tipos de fornos de carvoejamento no sertão Pernambucano: estudo de caso. **Boletim Técnico**, n. 05, 12 p, 2006.

SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. Caatinga e desertificação. **Mercator, Fortaleza**, v. 14, p. 131-150, 2015.

SOUZA, Z. M. de; SOUZA, G. S. de; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Número

de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo.

**Ciência Rural, Santa Maria**, v. 44, p. 261-268, 2014.

SUPERINTENDÊNCIA, DE ESTUDOS ECONÔMICOS E. SOCIAIS; BAHIA, D. A.

Disponível em: <https://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/mapas/pdf/>

TABARELLI, M., LEAL, I.R., SCARANO, F.R., SILVA, J. Caatinga: legado, trajetória edesafios rumo à sustentabilidade. **Ciência e Cultura**, 70(4), 25-29, 2018. tipologia\_climatica\_segundo\_koppen\_2014.dpf.Acessado em: Acesso em: 23 dez.2020.

TRAVASSOS, I.S.; DE SOUZA, B.I. Os negócios da lenha: indústria, desmatamento e desertificação no Cariri paraibano. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, 18 (2), 329-340, 2014.

TUANMU, M.N.; JETZ. W. A global, remote sensing-based characterization of terrestrial habitat heterogeneity for biodiversity and ecosystem modeling. **Global Ecology and Biogeography**. 2015.

TUANMU, M.N.; JETZ.W. A global 1-km consensus land-cover product for biodiversityand ecosystem modeling. **Global Ecology and Biogeography** 23(9): 1031-1045. 2014.

VALENTE, M.D.R.; QUEIROZ, W.T; PINHEIRO, J.G; MONTEIRO, L.A. D. S. Modelo

de predição para o volume total de Quaruba (*Vochysia inundata ducke*) via análise defatores e regressão. **Revista árvore**, v. 35, n. 2, 2011.

VIANA, H., ARANHA, J.; LOPES, D.; COHEN, W. B. Estimation of crown biomass of *Pinus pinaster* stands and shrubland above-ground biomass using forest inventory data, remotely sensed imagery and spatial prediction **models. Ecological Modelling**, 226, 22-35, 2012.

Vieira S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais,

R. F.; Alvarez, V. H.; Schaefer, C. E. G. R. (eds). Tópicos em ciência do solo. Viçosa:

**Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.1, p.1-53, 2000.

VILLAGRA, P. E.; MEGLIOLI, P. A.; PUGNAIRE, F. I.; VIDAL, B.; ARANIBAR, J.;

JOBBÁGY, E.Regulación de La Partición Del Agua En Zonas Áridas y Sus Consecuencias En La Productividad Del Ecosistema y Disponibilidad de Agua Para Los Habitantes. In: Lara, A.; Latorra, P.; Manson, R.; Barrantes, G. [eds.]. Servicios Ecosistémicos Hídricos: Estudios de Caso En América Latina y El Caribe. **Red ProAgua, Valdivia, Chile**, pp. 111-125. 2013.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, PMB. Geoestatística. **Conceitos e Aplicações: EditoraOficina de Textos**, 215 pp, 2013.

YAMAMOTO, J.K. **Avaliação e Classificação de Reservas Minerais**. São Paulo:Editora da Universidade de São Paulo. 232p. 20001.