

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL
CAMPUS MONTE CARMELO**

HELLEN CÁSSIA RODRIGUES DE AZEVEDO

**MODELOS LOCAIS DE PRODUÇÃO DE LÁTEX EM SERINGUEIRA
UTILIZANDO VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E DE SENSORIAMENTO
REMOTO**

**MONTE CARMELO/MG
AGOSTO DE 2022**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL
CAMPUS MONTE CARMELO**

HELLEN CÁSSIA RODRIGUES DE AZEVEDO

**MODELOS LOCAIS DE PRODUÇÃO DE LÁTEX EM SERINGUEIRA
UTILIZANDO VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E DE SENSORIAMENTO
REMOTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Otávio Veiga de Miranda.

**MONTE CARMELO/MG
AGOSTO DE 2022**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL
CAMPUS MONTE CARMELO**

HELLEN CÁSSIA RODRIGUES DE AZEVEDO

**MODELOS LOCAIS DE PRODUÇÃO DE LÁTEX EM SERINGUEIRA
UTILIZANDO VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E DE SENSORIAMENTO
REMOTO**

Prof. Dr. Rodrigo Otávio Veiga de Miranda
Orientador

Homologado pelo Colegiado do Curso
Supervisionado em: 16 / 08 / 2022

Prof. Dr. Jardel Boscardin
Coordenador do Curso

**MONTE CARMELO/MG
AGOSTO DE 2022**

RESUMO

A seringueira (*Hevea Brasilienses* Muell. Arg.) é considerada a mais importante fonte de borracha natural do mundo. Em razão das características de elasticidade e alta resistência ao impacto, torna difícil a sua substituição pela borracha sintética. Como matéria-prima principal, é essencial a avaliação de diferentes formas de obtenção da estimativa da produção de látex. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi modelar a produção de látex em um plantio de seringueira utilizando variáveis dendrométricas (VD) e de sensoriamento remoto (SR). O plantio está localizado em Monte Carmelo, Minas Gerais, com 13,2 ha, com a cultivar RRIM 600, plantada no espaçamento 8,00 x 2,90 m, com 11 anos de idade. Por meio de um inventário florestal com o lançamento de oito unidades amostrais, o diâmetro à altura do peito (d), altura total (h), altura comercial (hc) e produção de látex (*l*) foram mensurados. As imagens de satélite foram obtidas por meio da plataforma USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos), sendo utilizadas imagens do satélite sentinela 2A, para a data em que foi realizada a coleta de dados. A análise de correlação de Spearman foi usada para averiguar o grau de associação entre a produção de látex com VD e SR. A modelagem da produção de látex foi feita por meio de técnicas de análise de regressão, sendo avaliados modelos para estimativa da produção de látex por árvore e por unidade amostral. Os critérios usados para avaliar a performance dos modelos desenvolvidos foram o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}), coeficiente de determinação bruto (R^2_b), erro padrão da estimativa percentual ($S_{yx}\%$) e análise gráfica dos resíduos. Para verificar a similaridade estatística das estimativas de produção de látex, o teste F de Graybill (1976) foi utilizado. As variáveis dendrométricas analisadas não foram capazes de proporcionar estimativas adequadas de produção de látex, tanto por árvore quanto por unidade amostral. A produção média de látex na área foi $553,34 \pm 77,52 \text{ kg ha}^{-1}$ e a produção por árvore foi $8,15 \text{ kg ano}^{-1}$. Por meio da análise do índice NDVI o plantio encontra-se no estágio A e o seu vigor foliar está classificado de muito baixo a baixo. O índice de vegetação que melhor representou o comportamento da área foi o índice GLI.

Palavras-chave: Seringueira. Variáveis biométricas. Sensoriamento remoto. Produção de borracha.

ABSTRAT

The rubber tree (*Hevea Brasilienses* Muell. Arg.) is considered the most important source of natural rubber in the world. Due to the characteristics of elasticity and high impact resistance, it is difficult to replace it with synthetic rubber. As the main raw material, it is essential to evaluate different ways of obtaining the estimate of latex production. In this sense, the objective of this work was to model latex production in a rubber tree plantation using dendrometric (DV) and remote sensing (SR) variables. The plantation is located in Monte Carmelo, Minas Gerais, with 13.2 ha, with the cultivar RRIM 600, planted at a spacing of 8.00 x 2.90 m, with 11 years of age. Through a forest inventory with the release of eight sampling units, the diameter at breast height (d), total height (h), commercial height (hc) and latex production (l) were measured. Satellite images were obtained through the USGS (United States Geological Survey) platform, using images from the Sentinel 2A satellite, for the date on which data collection was performed. Spearman's correlation analysis was used to determine the degree of association between latex production with RV and SR. The modeling of latex production was performed using regression analysis techniques, and models were evaluated to estimate latex production per tree and per sampling unit. The criteria used to evaluate the performance of the developed models were the adjusted coefficient of determination (R^2_{ajust}), crude coefficient of determination (R^2_b), standard error of the percentage estimate ($S_{yx}\%$) and graphical analysis of residuals. To verify the statistical similarity of the latex production estimates, Graybill (1976) test was used. The dendrometric variables analyzed were not able to provide adequate estimates of latex production, both per tree and per sampling unit. The average production of latex in the area was 553.34 ± 77.52 kg ha⁻¹ and the production per tree was 8.15 kg year⁻¹. Through the analysis of the NDVI and GLI index, the plantation is in stage A and its leaf vigor is classified from very low to low. The vegetation index that best represented the behavior of the area was the GLI index.

Keywords: Rubber tree. Biometric variables. Remote sensing. Rubber production.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 JUSTIFICATIVA	3
3 OBJETIVOS.....	4
3.1 OBJETIVO GERAL.....	4
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	5
4.2 LEVANTAMENTO DOS DADOS	5
4.2.1 DELIMITAÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS	6
4.2.2 VARIÁVEIS MENSURADAS	7
4.3 LEVANTAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITE.....	8
4.3.1 ADEQUAÇÕES DAS IMAGENS E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	8
4.4 MODELOS PARA ESTIMATIVA DE LÁTEX	9
4.4.1 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE Spearman	9
4.4.2 MODELOS PARA ESTIMAR PRODUÇÃO DE LÁTEX	10
4.4.3 ESTATÍSTICAS DE AVALIAÇÃO DO AJUSTE DOS MODELOS	10
4.5 SIMILARIDADE DAS ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DE LÁTEX.....	11
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
5.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA E DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA	13
5.2 ESTIMATIVA AMOSTRAL DA PRODUÇÃO DE LÁTEX.....	14
5.1 PRODUÇÃO DE LÁTEX POR ÁRVORE.....	16
6. PRODUÇÃO DE LÁTEX POR UNIDADE AMOSTRAL.....	22
7. SIMILARIDADE DAS ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DE LÁTEX.....	26
8. MAPAS DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	28
9. CONCLUSÃO.....	36
10. REFERÊNCIAS	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Índices de vegetação (IV) utilizados em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	9
Tabela 2. Critérios estatísticos utilizados na avaliação dos modelos ajustados para estimativas de produção de látex em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	11
Tabela 3. Estatísticas descritivas das variáveis obtidas para um plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	13
Tabela 4. Sazonalidade estimada da produção de látex para a maioria dos clones de seringueira no Brasil.....	15
Tabela 5. Variáveis utilizadas no desenvolvimento de modelos para estimar a produção de látex por árvore, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais..	16
Tabela 6. Coeficientes estimados e estatísticas de avaliação no ajuste de modelos para estimar a produção de látex por árvore, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	19
Tabela 7. Variáveis dependentes e independentes para o desenvolvimento de modelos para estimar produção de látex por unidade amostral, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	23
Tabela 8. Coeficientes estimados e estatísticas de avaliação no ajuste de modelos para estimar a produção de látex por árvore, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	25
Tabela 9. Teste de Graybill para avaliar a similaridade estatística das estimativas de produção de látex por árvore e por unidade amostral aos respectivos valores observados, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	27
Tabela 10. Teste de Graybill para avaliar a similaridade estatística das estimativas de produção de látex por unidade amostral aos respectivos valores observados, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	27
Tabela 11. Escala do índice normalized difference vegetation index (NDVI).....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plantio de seringueira, em sua vista parcial (a), as linhas de plantio (b) e os potes coletores de látex (c), no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.	5
Figura 2. Distribuição sistemática de unidades amostrais em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	6
Figura 3. Alocação de uma unidade amostral circular, em um plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	6
Figura 4. Mensuração da altura total e comercial (a) e pesagem da produção de látex por árvore (b) em um plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.	7
Figura 5. Frequência do número de árvores (N ha ⁻¹) em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	14
Figura 6. Produção média de látex por árvore por unidade amostral, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	14
Figura 7. Dispersão entre variáveis para o desenvolvimento de modelos para estimativa da produção de látex por árvore, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	17
Figura 8. Dispersão dos resíduos para os modelos desenvolvidos para estimar a produção de látex por árvore, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais..	20
Figura 9. Distribuição diamétrica das árvores amostradas em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	21
Figura 10. Diferença absoluta por classe diamétrica dos modelos desenvolvidos para estimativa de látex por árvore em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	22
Figura 11. Dispersão dos resíduos percentuais para os modelos testados para estimar produção de látex por unidade amostral (ua) em função de índices de vegetação, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	26
Figura 12. Mapa referente ao índice de vegetação NDVI, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	30
Figura 13. Mapa referente ao índice de vegetação GLI, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	31
Figura 14. Mapa referente ao índice de vegetação MPRI, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	32
Figura 15. Mapa referente ao índice de vegetação MGRVI, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	32
Figura 16. Mapa referente ao índice de vegetação RGBVI, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	33

Figura 17. Mapa referente ao índice de vegetação RGR, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.....	34
---	----

1 INTRODUÇÃO

A seringueira, pertencente à família Euphorbiaceae, é uma espécie arbórea nativa da América do Sul (região Amazônica) (STERLING et al., 2019). Seu produto principal, o látex, é direcionado à fabricação de diversos produtos utilizados pela sociedade (FIALHO et al., 2019).

A cultura é considerada a mais importante fonte de borracha natural (STERLING et al., 2019) alcançando, em 2018, produção mundial de borracha natural de 13,87 milhões de toneladas, sendo o consumo, nesse mesmo ano, de 13,81 milhões de toneladas (LEMBAGA GETAH MALAYSIA – LGM, 2018). Nos dias atuais, o Brasil produz em média 1,6% do total mundial, sendo o consumo brasileiro maior que a sua produção, tornando necessário a importação de cerca de 60% para atender a demanda pelo produto (SAVAREZ et al., 2019).

A produção no estado de Minas Gerais no ano de 2020 foi de 28.013 toneladas apresentando rendimento médio de 2.086 Kg por hectare (IBGE, 2020), no entanto o maior produtor nacional e o estado de São Paulo sendo responsável por 60% da produção no Brasil, com 222 mil toneladas de coágulo (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA, 2019).

O látex é uma das principais fontes de extração da seringueira, sendo um dos maiores alvos do seu melhoramento genético, o que embasa estudos para aumentar a qualidade da borracha, a resistência à doença e a sua produção (SILVA et al., 2019).

A produção de látex pode variar entre regiões, tipos de clones (MESQUITA et al., 2006) é até mesmo entre árvores, tornando a produção incerta (REGÔ, 2018). Uma das formas de minimizar esse problema, e utilizar modelos matemáticos, seja equações de regressão ou por Redes Neurais Artificiais (RNA) para estimar a produtividade no povoamento. No entanto a maioria dos modelos desenvolvidos no setor florestal e para realizar prognose do volume de madeira (SILVA et al., 2009; DIAMANTOPOULOU, 2012; MARTINS et al., 2020).

Para produtos florestais não madeireiros, como o látex, somente no Acre já foi desenvolvido uma equação para estimar a produtividade em seringueira (JARAMILOGIRALDO et al., 2017) tornando necessário o desenvolvimento de modelos que ajude na prognose dos plantios.

Os modelos atualmente desenvolvidos no setor florestal para auxiliar na prognose dos plantios utilizam as variáveis dendrométricas para obter a volumetria do povoamento. Essas variáveis são obtidas por meio dos inventários florestais, contudo, essa atividade demanda altos custos para ser realizada nas empresas, dessa forma outros métodos de mensuração das árvores

vêm sendo empregado com o intuito de reduzir o tempo de coleta nesse setor (CUNHA NETO et al., 2018).

O crescimento da silvicultura necessita de soluções técnicas de monitoramento dos plantios que tenham rápida aplicabilidade e baixo custo, e que sejam capazes de apoiar os procedimentos de condução dos povoamentos, com isso o sensoriamento remoto hiperespectral (HRS), em nível de campo, apresenta um grande potencial para ser empregado na silvicultura (GOERGEN et al., 2015).

O sensoriamento remoto (SR) é um dos métodos que permite realizar o monitoramento de diversas culturas de forma mais ágil, e em larga escala pois permite a mensuração a distância sem que haja contato físico entre o alvo e o sensor, envolvendo o estudo da interação da radiação eletromagnética com os objetos terrestres (ALBA et al., 2014).

Na cultura da seringueira, o monitoramento por meio do SR foi utilizado com o intuito de monitorar o dossel do seringal e identificar interferências ou estresses na cultura (PEZZONI FILHO et al., 2018b). No entanto essa técnica ainda não foi empregada para modelagem da produção de látex nessa espécie.

Diante do exposto, este trabalho foi conduzido a partir da seguinte hipótese: técnicas de regressão e de sensoriamento remoto são capazes de gerar estimativas acuradas de produção de látex em plantios de seringueira?

2 JUSTIFICATIVA

O volume de látex produzido pela cultura da seringueira precisa ser estimado para que os produtores ou gestores florestais possam intervir de forma adequada no aumento da produção dessa espécie. O uso de equação para estimar a produção de látex por árvore foi realizado na região sul do estado do Acre (JARAMILLO-GIRALDO et al., 2017). No entanto, para que uma equação desenvolvida para determinada região seja aplicada em regiões distintas, torna-se necessário averiguar a magnitude dos erros pois, caso contrário, pode resultar em erros expressivos (NOGUEIRA et al., 2008). Uma alternativa é o desenvolvimento de equações específicas para o plantio sob avaliação, levando em consideração diferentes aspectos que podem influenciar na produção de látex.

Poucos estudos abordam de maneira integrada os aspectos ecológicos, econômicos e culturais da extração da borracha nas seringueiras. Portanto, há necessidade de estudos que relacionem os fatores que mais influenciam na estimativa da produção do látex, a qual é a principal fonte de renda nessa cultura (JARAMILLO-GIRALDO et al., 2017).

Na região a qual será desenvolvido o estudo, não há trabalhos desenvolvidos que visem desenvolver modelos para prognose da produção látex utilizando variáveis dendrométricas e índices de vegetação.

Estudos relatam a eficácia de índices de vegetação a partir de imagens de satélites, usando a banda do infravermelho próximo, para caracterizar o comportamento espectral da seringueira (PEZZONI FILHO et al., 2018b). Entretanto, mais estudos sobre a estimativa da produção de látex a partir de imagens de satélite por meio de índices espectrais são necessários.

Diante do exposto, torna-se essencial a avaliação de diferentes formas de obtenção da produção de látex, tanto por árvore quanto para a unidade amostral. Além disso, a avaliação de abordagens distintas é válida, como a obtenção de estimativas de produção de látex em função de variáveis dendrométricas e de índices espectrais provenientes de imagens de satélite.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Modelar a produção local de látex em seringueira (*Hevea brasilienses* Muell. Arg.) utilizando variáveis dendrométricas e de sensoriamento remoto.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar variáveis dendrométricas de interesse;
- Determinar a produção local de látex por árvore;
- Analisar as variáveis dendrométricas mais correlacionadas com a produção de látex por árvore;
- Calcular e definir o índice de vegetação mais correlacionado com a produção de látex por unidade amostral;
- Desenvolver modelos locais de produção de látex por árvore e por unidade amostral utilizando técnicas de análise de regressão.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A coleta de dados foi realizada em um plantio de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) de 13,2 ha, em uma propriedade situada no município de Monte Carmelo, Minas Gerais, nas coordenadas 18°41'8.60"S e 47°31'29.57"O, com altitude de 1.051,00 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante no município é o Cwa, caracterizado pelo verão úmido e inverno seco. A temperatura média é de 20,6 °C e precipitação média acumulada de 1.499,90 mm (ALVARES et al., 2014). A variedade de seringueira plantada é a RRIM 600, com espaçamento planejado de 8,00 × 2,90 m, com 11 anos de idade (Figura 1).



Figura 1. Plantio de seringueira, em sua vista parcial (a), as linhas de plantio (b) e os potes coletores de látex (c), no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

4.2 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Para o levantamento dos dados, um inventário florestal foi realizado, sendo alocadas oito unidades amostrais circulares de raio 18,02 m (área de 1.020 m²). Esta dimensão foi definida a partir do espaçamento de plantio para amostrar cerca de 40 árvores por unidade amostral. Com o auxílio do programa Qgis, as unidades amostrais foram distribuídas em *grid* de forma sistematizada, a cada 115 m (Figura 2).

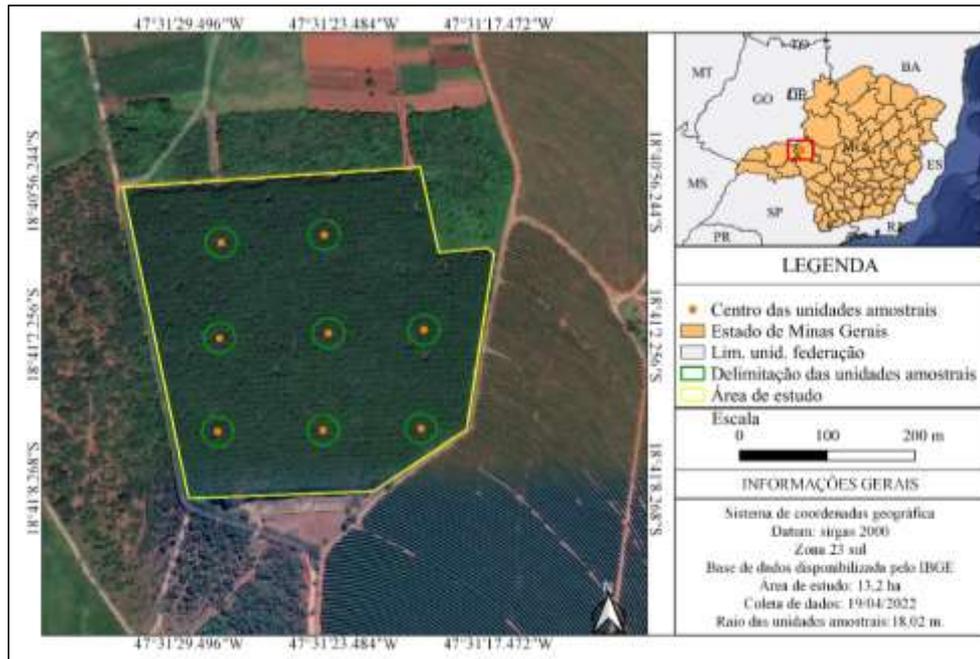


Figura 2. Distribuição sistemática de unidades amostrais em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

4.2.1 DELIMITAÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS

Os pontos definidos no *grid* foram considerados referenciais para a alocação das unidades amostrais, as quais foram localizadas em campo com um Gps Garmin. A partir deste ponto de referência, delimitou-se a unidade amostral circular com o auxílio de uma trena, sendo as árvores limites da unidade amostral marcadas com giz (Figura 3).



Figura 3. Alocação de uma unidade amostral circular, em um plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

4.2.2 VARIÁVEIS MENSURADAS

Em cada unidade amostral, mensurou-se as variáveis dendrométricas de interesse de todas as árvores, sendo a CAP (circunferência à altura do peito, em cm), a altura total (h) e comercial (hc) (em m) e a produção do látex por árvore (l , em Kg) (Figura 4a). A CAP foi mensurada à 1,30 m do solo, com o auxílio de uma fita métrica, sendo posteriormente convertida em d (diâmetro à altura do peito) pela expressão $d = CAP/\pi$.

As alturas totais e comerciais foram mensuradas com um hipsômetro Haglof ECII. A altura comercial foi considerada a distância da base da árvore até a sua primeira bifurcação e a altura total foi considerada a distância da base da árvore até o seu último galho. Para aferição do peso do látex de cada árvore, uma balança digital portátil Bfh1385 foi utilizada (Figura 4b).



(a)



(b)

Figura 4. Mensuração da altura total e comercial (a) e pesagem da produção de látex por árvore (b) em um plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

A produção de látex por unidade amostral (L) foi obtida pela soma da produção de látex das árvores inseridas na unidade amostral. Para isso, a expressão 1 foi utilizada.

$$L = \sum_{i=1}^n (l_i) \quad (1)$$

Em que: L = produção de látex por unidade amostral; l_i = produção de látex da árvore i ; n = número de árvores contabilizadas na unidade amostral.

A partir do d de cada árvore, a área basal por hectare da unidade amostral ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) foi calculada, dada pelo somatório das áreas seccionais de um conjunto de árvores (SOARES et al., 2006), sendo utilizada a expressão 2.

$$G = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\pi d_i^2}{40.000} \right) \left(\frac{10.000}{1.020} \right) \quad (2)$$

Em que: G = área basal (em $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$); $\pi = 3,141593$; d = diâmetro à altura do peito (cm); n = número de árvores contabilizadas na unidade amostral.

O número de árvores por hectare (N) foi obtido para cada unidade amostral, empregando-se a expressão 3.

$$N = \sum_{i=1}^n (n_i) \left(\frac{10.000}{1.020} \right) \quad (3)$$

Em que: N = número de árvores por hectare; n_i = número de árvores contabilizadas na i -ésima unidade amostral.

4.3 LEVANTAMENTO DAS IMAGENS DE SATÉLITE

As imagens de satélite utilizadas neste trabalho foram obtidas por meio da plataforma USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos), sendo utilizadas imagens do satélite sentinel 2A, para a data em que foi realizada a coleta de dados (19/04/2022). Para isso, as bandas RGB (Red, Green, Blue) e IV (Infra Vermelho Próximo) foram utilizadas.

4.3.1 ADEQUAÇÕES DAS IMAGENS E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

O processamento das imagens foi realizado no programa Qgis, onde fez-se o recorte e o *buffer*. Ainda, a ferramenta *raster calculator* foi utilizada para o cálculo dos índices de vegetação (IV).

Estes índices podem ser obtidos por várias combinações matemáticas das bandas espectrais (KAFFER et al., 2016). Normalmente, os valores obtidos por esses índices variam entre 0 a 1 ou de -1 a 1, e servem como uma “nota” para a condição das plantas avaliadas (ANDRADE, 2019). Neste estudo, seis índices foram utilizados, sendo eles o NDVI, GLI, MPRI, RGBVI, MGRVI e o RGR (Tabela1). Esses índices foram utilizados no intuito de

desenvolver modelos capazes de estimar a produção de látex por meio de índices de vegetação, informando quais áreas do plantio encontrava-se mais vigorosas.

Tabela 1. Índices de vegetação (IV) utilizados em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

Índice de vegetação	Abreviação	Expressão	Aplicações	Referência
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$	Plantas daninhas, cobertura vegetal	Rouse et al. (1995)
Green Leaf Index	GLI	$\frac{(2G - R - B)}{(2G + R + B)}$	Clorofila, cobertura vegetal	Louhaichi, Borman e Johnson (2001)
Modified Green Red Vegetation Index	MGVRI	$\frac{(G^2 - R^2)}{(G^2 + R^2)}$	Biomassa	Bendig et al. (2015)
Modified Photochemical Reflectance	MPRI	$\frac{(G - R)}{(G + R)}$	Fotossíntese	Yang et al. (2008)
Red Green Blue Vegetation Index	RGVBI	$\frac{(G - B * R)}{(G^2 + B * R)}$	Biomassa	Bendig et al. (2015)
Red/Green Reflectance Ratio	RGR	$\frac{(R)}{(G)}$	Antocianina	Gamon; Surfus (1999)

Em que: G = banda do verde (Green); B = banda do azul (Blue); R = banda do vermelho (Red); NIR = banda do infravermelho próximo.

Após o cálculo dos IV, os valores em todos os *pixels* das imagens foram extraídos, sendo utilizada a ferramenta *Zonal statistics* para obtenção da média, a mediana e o desvio padrão dos IV das unidades amostrais. O mapa de cada índice de vegetação foi realizado utilizando o tipo de renderização de falsa cor. A finalização e *layout* para cada IV foram realizados no mesmo programa.

4.4 MODELOS PARA ESTIMATIVA DE LÁTEX

4.4.1 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN

A correlação de Spearman foi usada para verificar o grau de associação entre variáveis para a seleção daquelas a compor os modelos para estimativa da produção de látex, tanto por árvore quanto por unidade amostral. Esta análise de correlação foi realizada no programa PAST v.4.09 (HAMMER et al., 2001) considerando significância de 5%. As variáveis que apresentaram a maior correlação significativa com a respectiva variável dependente foram utilizadas nos modelos como as variáveis independentes.

4.4.2 MODELOS PARA ESTIMAR PRODUÇÃO DE LÁTEX

Modelos para estimar a produção de látex por árvore e por unidade amostral foram avaliados. Para os modelos para estimar produção de látex por árvore, as variáveis utilizadas nesta análise de correlação foram a produção de látex, diâmetro à altura do peito (d), altura total (h) e altura comercial (hc). Além de serem utilizadas na escala original, as transformações logarítmica, inversa, quadrada e raiz quadrada das variáveis foram aplicadas.

Para os modelos para estimar produção de látex por unidade amostral, as variáveis utilizadas na análise de correlação foram a produção de látex e os índices de vegetação NDVI, GLI, MPRI, RGBVI, MGRVI e o RGR, em escala original e nas mesmas transformações mencionadas. A razão da utilização da produção de látex por unidade amostral se deve à forma de obtenção dos IV utilizados neste trabalho, provenientes de imagens de satélite cuja resolução não possibilitou a delimitação das copas individualizadas das árvores.

Além da análise dos modelos obtidos a partir das etapas descritas, avaliou-se modelos desenvolvidos a partir do processo *stepwise* (essa seleção é uma combinação dos procedimentos backward e forward, onde inicia -se como no procedimento de forward, e posterior a cada etapa de inclusão de uma covariante, tem-se uma etapa para tentar excluir outra covariável) de seleção de variáveis considerando significância de 5%. Para isto, as mesmas variáveis foram utilizadas, na escala original e com transformações mencionadas.

4.4.3 ESTATÍSTICAS DE AVALIAÇÃO DO AJUSTE DOS MODELOS

Os modelos lineares múltiplos foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados ordinários no Microsoft Excel. Para o desenvolvimento do modelo pelo processo *stepwise*, o programa R versão 4.0.1 foi utilizado, a partir do pacote *olsrr* (HEBBALI, 2020). As estatísticas utilizadas para avaliar o ajuste dos modelos foram o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}), erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx}\%$), ambos recalculados para a variável de interesse, e análise gráfica da dispersão de resíduos ($Res\%$) (Tabela 2).

Nos modelos lineares em que o intercepto não foi significativo, o coeficiente de determinação utilizado foi o sugerido por Kvalseth (1985) citado por Silva et al. (2008). Para modelos lineares que passam pela origem, Gujarati e Porter (2011) denominam o R^2 de coeficiente de determinação bruto (R_b^2). O nível de significância α adotado na regressão foi de 5%, assim como que para a significância dos coeficientes.

Tabela 2. Critérios estatísticos utilizados na avaliação dos modelos ajustados para estimativas de produção de látex em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais

Critérios	Fórmulas
Coefficiente de determinação	$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$
Coefficiente de determinação ajustado	$R_{ajust}^2 = 1 - [1 - R^2] \left(\frac{n-1}{n-p} \right)$
Coefficiente de determinação Bruto	$R_b^2 = 1 - SQ\ Re\ s / \sum_{i=1}^n y_i^2$
Erro padrão da estimativa percentual	$S_{yx}\% = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}}}{\bar{y}_i} 100$
Resíduos em porcentagem	$\text{Resíduos \%} = \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} 100$

Em que: y_i = valores observados; \hat{y}_i = valores estimados; \bar{y} = média dos valores observados; n = número de observações; p = número de coeficientes do modelo.

Para as equações em que a variável dependente sofreu algum tipo de transformação logarítmica, antes de se proceder ao recálculo, multiplicou-se o volume estimado pelo fator de correção da discrepância logarítmica de Meyer (FM). Este fator é dado pela expressão 4.

$$FM = e^{0,5S_{yx}^2} \quad (4)$$

Em que: $e = 2,718281828$ e S_{yx} = erro padrão da estimativa (kg).

4.5 SIMILARIDADE DAS ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DE LÁTEX

Para verificar a similaridade estatística das estimativas de produção de látex aos respectivos valores observados, o teste F de Graybill (1976) foi utilizado, considerando 5% de significância estatística. Este teste foi aplicado três vezes, uma para as estimativas de produção de látex por árvore (i); outra para as estimativas por unidade amostral, obtida pelo somatório das estimativas de produção de látex das árvores que a compõe (ii); e a última também para as estimativas por unidade amostral, porém, obtidas pelos modelos que utilizaram algum índice de vegetação como variável independente (iii).

Conforme Leite e Oliveira (2002), este teste realiza a comparação de grupos de dados quantitativos, onde um é considerado como método padrão (valores observados, Y_1) e o outro como o método alternativo (valores estimados, Y_j). Nesta análise, os valores observados foram considerados o método padrão e as estimativas como o método alternativo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA E DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

A média dos diâmetros das árvores com idade de 11 anos foi de 22,3 cm, com valor mínimo de 8,91 cm e máximo de 30,80 cm (CV = 16,08%) (Tabela 3). Em relação à altura total, a média foi de 17,5 m e variaram de 8,0 a 22,8 m (CV = 11,63%). Por sua vez, pela média da altura comercial, percebe-se que a primeira bifurcação do fuste ocorre entorno de 25,7% da altura total. A menor produção de látex por árvore encontrada na área foi 0,21 kg, sendo a máxima de 3,00 kg, proporcionando a maior variação (CV = 35,81%), com média de 1,41 kg. Em média, 40 árvores foram amostradas por unidade amostral, sendo o número mínimo e máximo de árvores amostradas de 38 e 42 árvores (CV = 29,23%), respectivamente.

Tabela 3. Estatísticas descritivas das variáveis obtidas para um plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais

Variável	Mínimo	Médio	Máximo	CV (%)
d (cm)	8,91	22,30	30,80	16,08
h (m)	8,00	17,50	22,80	11,63
hc (m)	2,40	4,50	8,90	18,90
<i>l</i> (kg)	0,21	1,41	3,00	35,81
n	38	40	42	29,23

Em que: d = diâmetro à altura do peito; h = altura total; hc = altura comercial; *l* = produção de látex; n = número de árvores por unidade amostral; CV (%) = coeficiente de variação percentual.

Para conhecer como as árvores amostradas se distribuíam, a distribuição diamétrica foi feita, considerando amplitude de 2 cm. O maior número de árvores se concentrou de 20 a 24 cm (Figura 5). Por outro lado, árvores com diâmetro abaixo de 6 cm e acima de 28 cm apresentaram baixa frequência, representando apenas cerca de 7,2% do total de árvores.

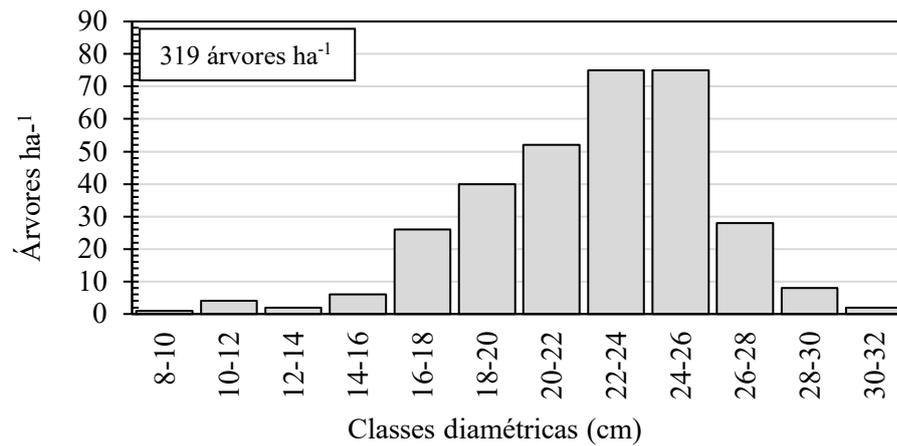


Figura 5. Frequência do número de árvores (N ha⁻¹) em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

5.2 ESTIMATIVA AMOSTRAL DA PRODUÇÃO DE LÁTEX

A produção de látex na área analisada variou bastante de uma árvore para outra, com uma amplitude de variação de 2,76 kg árvore⁻¹, representando uma variação de 1.346%. A estimativa da produção média por árvore foi de 1,41 kg de látex, com destaque às árvores da unidade amostral 2, com valores médios de 1,77 kg de látex (Figura 6).

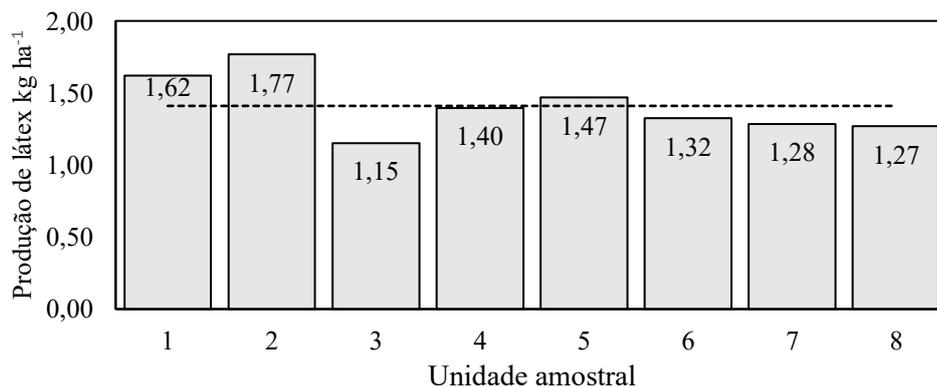


Figura 6. Produção média de látex por árvore por unidade amostral, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

A partir deste valor médio e considerando manutenção das condições do plantio ao longo do ano, assim como os percentuais de produção anual de seringueira (Tabela 4), a estimativa de produção por árvore é de 8,15 kg ano⁻¹. Em áreas onde a seringueira é bem manejada, a produção de látex por árvore se situa entorno de 7,0 kg ano⁻¹ e em média 3.500 kg ha⁻¹ (ALVARENGA, 2020). Essa maior produção pode estar relacionada à maior área

por planta, 16% superior àquela em áreas bem manejadas, favorecendo o crescimento diamétrico (GAMA et al. 2017) e, conseqüentemente, a maior produção de látex. Se levar em consideração o número de árvores efetivamente amostrado (319 árvores ha⁻¹), este percentual se eleva para 56,7%. A relação de maior produção de látex conforme se aumenta o diâmetro da árvore foi destacada por Lavorenti et al. (1990).

Tabela 4. Sazonalidade estimada da produção de látex para a maioria dos clones de seringueira no Brasil

Mês	Produção (%)	Mês	Produção (%)
Janeiro	13,80	Julho	2,40
Fevereiro	14,40	Agosto	0,00
Março	14,20	Setembro	0,50
Abril	17,30	Outubro	2,70
Maio	13,00	Novembro	5,60
Junho	8,90	Dezembro	7,20

Fonte: (APABOR, 2014). Área em destaque se refere ao mês de coleta dos dados.

A partir do processamento da base de dados coletada, a produção média estimada por unidade amostral foi de $56,45 \pm 7,91$ kg de látex (CV = 17,31%). O erro relativo de amostragem na estimativa de produção de látex foi de 14,01%. A estimativa de produção de látex por unidade de área foi de $553,34 \pm 77,52$ kg ha⁻¹, sendo de $7.304,09 \pm 1.023,30$ kg para a área total do plantio.

A produção média para o estado de São Paulo para áreas não tecnificadas é de 2.200 kg ha⁻¹, podendo chegar a ter uma produção de 3.200 kg ha⁻¹ em áreas com alta tecnologia (DE LIMA FILHO, 2018), já no estado de minas gerais os seringais apresentam rendimento médio de 2.086 Kg por hectare (IBGE, 2020). Como observado, a área deste trabalho promoveu valores de produção de látex por hectare inferiores. Este resultado é reflexo do manejo realizado no plantio, além da não aplicação de tratamentos silviculturais e em tecnologias utilizados em plantios mais produtivos, como exposto pelo engenheiro responsável da área.

Ao analisar os valores por árvore e por hectare, a produção de látex apresentou-se superior e inferior àqueles observados em plantios tecnificados, respectivamente. Estes resultados podem estar relacionados ao espaçamento de plantio na área de estudo, favorecendo a produção de látex por árvore, mas afetando a produção por unidade de área.

Alguns espaçamentos retangulares comuns de serem observados são em torno de 7,00 x 3,00 m e 8,00 x 2,50 m (IAC, 2022). O ideal é que sejam plantadas entorno de 500 árvores

por hectare em espaçamentos de 7,00 a 8,00 m entre as linhas de plantio e de 2,50 a 3,00 m entre as plantas nas linhas (IAC, 2004).

5.1 PRODUÇÃO DE LÁTEX POR ÁRVORE

Para a seleção das variáveis a compor os modelos, a matriz de correlação de Spearman foi utilizada (5% de significância) entre a variável dependente (produção de látex) e variáveis independentes (variáveis dendrométricas) (Tabela 5). Após escolhida determinada variável ou sua transformação mais correlacionada com a variável de interesse, outra variação da mesma não foi empregada. Miranda et al. (2022) utilizou esta mesma forma de seleção de modelos para criar modelos individuais para projeção do diâmetro e altura em plantios de *Pinus taeda* L. Além desta metodologia, um modelo foi proposto baseado no procedimento *Stepwise* de seleção de variáveis.

Tabela 5. Variáveis utilizadas no desenvolvimento de modelos para estimar a produção de látex por árvore, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais

Variável dependente	Variáveis independentes
l	$d, \text{Ln}(d), d^2, \sqrt{d}, d^{-1}, h, \text{Ln}(h), h^2, \sqrt{h}, h^{-1}, hc, \text{Ln}(hc), hc^2, \sqrt{hc}, hc^{-1}$
$\text{Ln}(l)$	$d, \text{Ln}(d), d^2, \sqrt{d}, d^{-1}, h, \text{Ln}(h), h^2, \sqrt{h}, h^{-1}, hc, \text{Ln}(hc), hc^2, \sqrt{hc}, hc^{-1}$
l^{-1}	$d, \text{Ln}(d), d^2, \sqrt{d}, d^{-1}, h, \text{Ln}(h), h^2, \sqrt{h}, h^{-1}, hc, \text{Ln}(hc), hc^2, \sqrt{hc}, hc^{-1}$
\sqrt{l}	$d, \text{Ln}(d), d^2, \sqrt{d}, d^{-1}, h, \text{Ln}(h), h^2, \sqrt{h}, h^{-1}, hc, \text{Ln}(hc), hc^2, \sqrt{hc}, hc^{-1}$

Em que: d = diâmetro à altura do peito; h = altura total; hc = altura comercial; l : produção de látex.

As correlações mais fortes foram observadas com os valores na escala original e com as transformações logarítmica e inversa, razão de não constar na Figura 7 todos os casos possíveis da matriz de correlação. Visualmente, a correlação entre as variáveis foi baixa. Conforme os valores indicados em cada gráfico, as maiores correlações encontradas foram para a variável $\text{Ln}(d)$, em relação às variáveis dependentes l , l^{-1} e $\text{Ln}(l)$, respectivamente.

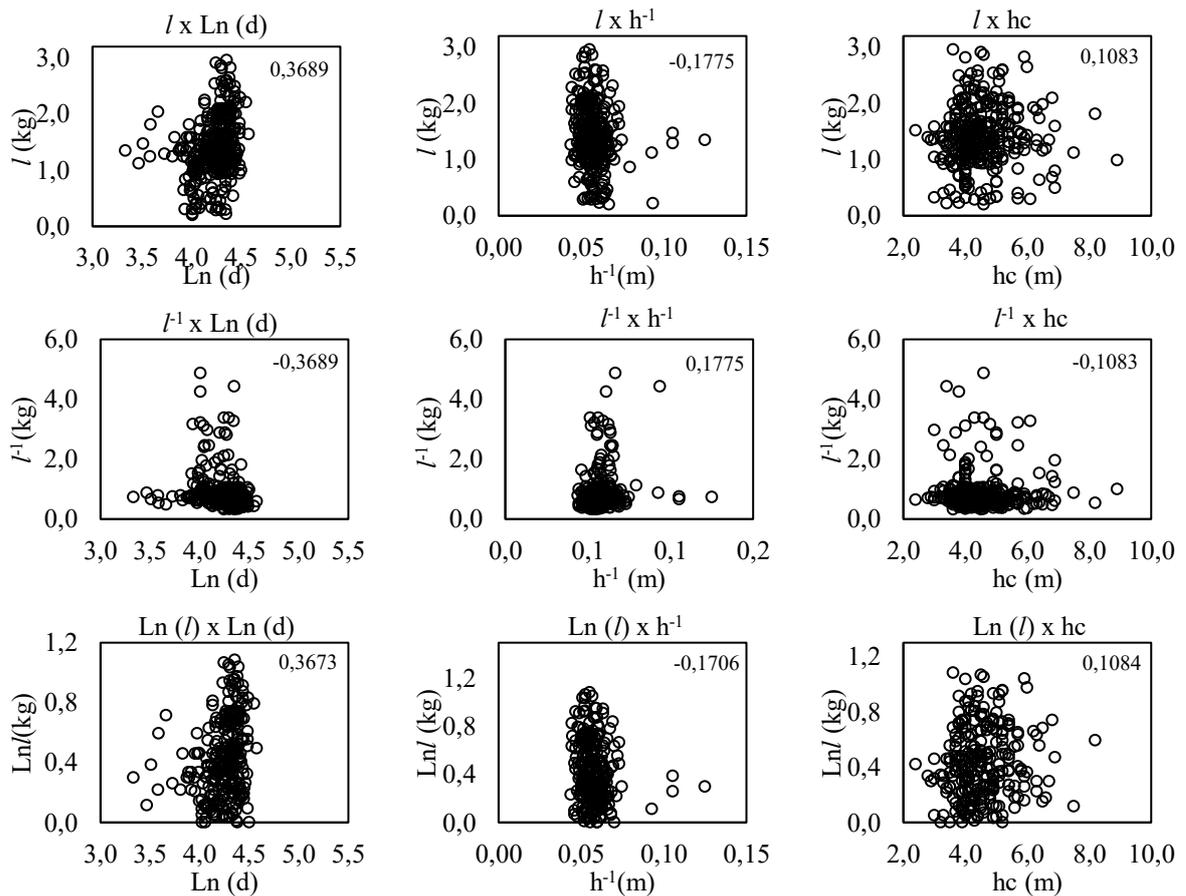


Figura 7. Dispersão entre variáveis para o desenvolvimento de modelos para estimativa da produção de látex por árvore, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

Os modelos desenvolvidos, os coeficientes estimados e as estatísticas de avaliação do ajuste estão apresentados na Tabela 6. O modelo que apresentou os melhores resultados foi o que utilizou “ l ” como variável dependente desenvolvido pelo procedimento *Stepwise*, como era esperado. Contudo, sua superioridade é pequena ao modelo mais simples, em que a produção de látex é dada apenas pelo logaritmo do diâmetro (modelo 1).

Uma das razões para a não obtenção de ajustes com qualidade superior é a alta variabilidade da produção de látex de uma árvore para outra. Além disso, os resultados indicam que as variáveis dendrométricas em análise não foram suficientes em explicar satisfatoriamente a produção de látex por árvore. Isso pode ser explicado pelo fato de a produção de látex ser influenciada diretamente por diferentes variáveis, algumas relacionadas ao processo de retirada do látex, as quais não foram consideradas neste trabalho.

Tabela 6. Coeficientes estimados e estatísticas de avaliação no ajuste de modelos para estimar a produção de látex por árvore, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais

Modelo	Equação	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$
1	$l = \beta_0 + \beta_1 \ln(d)$	-0,8147*	0,7410*	-3,8572 ^{ns}	0,0373 ^{ns}	-	-	0,07	31,90
2	$l^{-1} = \beta_0 + \beta_1 \ln(d)$	2,4964*	-0,5494*	-0,0044 ^{ns}	0,0221 ^{ns}	-	-	0,21	35,51
3	$\ln(l) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2 h^{-1}$	-1,3387*	0,1918 ^s	-4,5903*	0,0216 ^{ns}	-	-	0,03	32,76
4	$l = \beta_0 + \beta_1(d)^2 + \beta_2 d^{-1} + \beta_3 h^{-1} + \beta_4(d) + \beta_5 \ln(d)$	311,9541*	-0,0745*	-705,747*	0,0321*	8,0996 ^s	-136,26 ^s	0,18	31,48

Em que: l = produção do látex por árvore; d = diâmetro à altura do peito, mensurado à 1,3 m acima do nível do solo; h = altura total; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ = coeficientes estimados; R^2_{ajust} = coeficiente de determinação; $S_{yx}\%$ = erro padrão da estimativa; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ = coeficientes de regressão estimados; * = coeficiente de regressão estimado significativo; ns = coeficiente de regressão estimado não significativo.

Mesquita et al. (2006) e Moraes et al. (2013) relataram que as condições edafoclimáticas do plantio e estado hídrico do solo, potencial genético dos clones, sistema de manejo adotado nos seringais, demanda evaporativa da atmosfera, densidade de plantio, sistema de cultivo e processos fisiológicos influenciam no potencial produtivo do seringal. Além destes, o vento e o grau de insolação podem ser fatores limitante na produção da espécie, estando o vento interligado com a coagulação do látex no local do corte, interrompendo o fluxo do escoamento do látex (GAMA et al., 2017).

Outros fatores que exercem influência na produção de látex são o tipo de solo, o operador que realiza a sangria, o tamanho do painel de sangria, presença de pragas e doenças, posição sociológica da árvore. Finalmente, a produção em plantios de seringueira não é regular ao longo do ano, variando conforme os meses, como exposto anteriormente na Tabela 4.

A partir da análise da dispersão dos resíduos (Figura 8), é possível perceber que os quatro modelos apresentaram variação similar, com leve destaque aos modelos 1 e 4, principalmente para árvores próxima ao diâmetro médio. Dentre esses, o modelo 1 gerou estimativas menos precisas, onde a produção de látex foi subestimada para as árvores de menor porte, ocorrendo o inverso para o modelo 4.

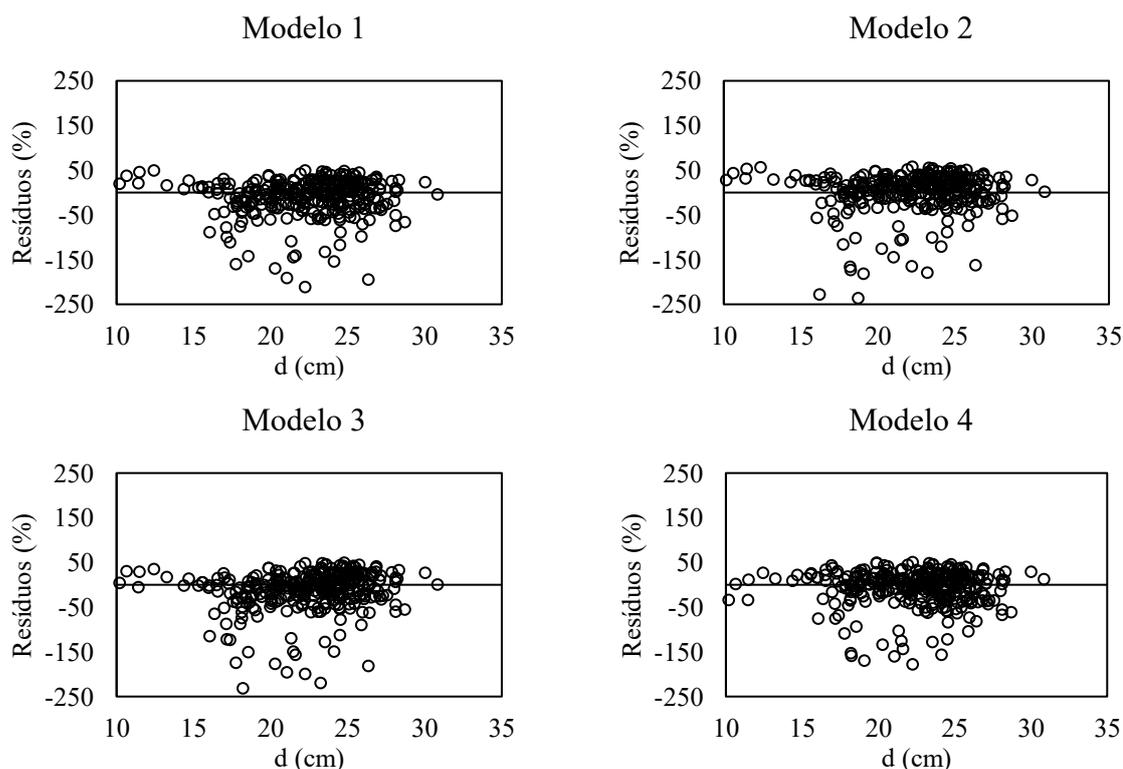


Figura 8. Dispersão dos resíduos para os modelos desenvolvidos para estimar a produção de látex por árvore, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

Com o intuito de identificar a produção de látex por árvore por classe diamétrica, assim como aquelas com maiores diferenças absolutas entre os valores observados dos estimados, as Figuras 9 e 10 foram elaboradas. A tendência de árvores de maiores diâmetros apresentarem maior produção de látex foi observada, embora tenham ocorrido o inverso em algumas classes (Figura 9). Cabe mencionar que os resultados são mais acurados para as classes diamétricas de 16 a 28 cm, visto o número de árvores amostrado em cada uma.

Ao avaliar o potencial de produção em seringais nativos aos 30 anos na região de Jaramaqué, estado do Pará, Gama et al. (2017) constataram que árvores com diâmetros iguais ou superiores a 40 cm são mais produtivas às árvores com menores diâmetros. Lavorenti et al. (1990) afirmaram que há correlação alta e significativa entre a produção de látex e a circunferência do fuste.

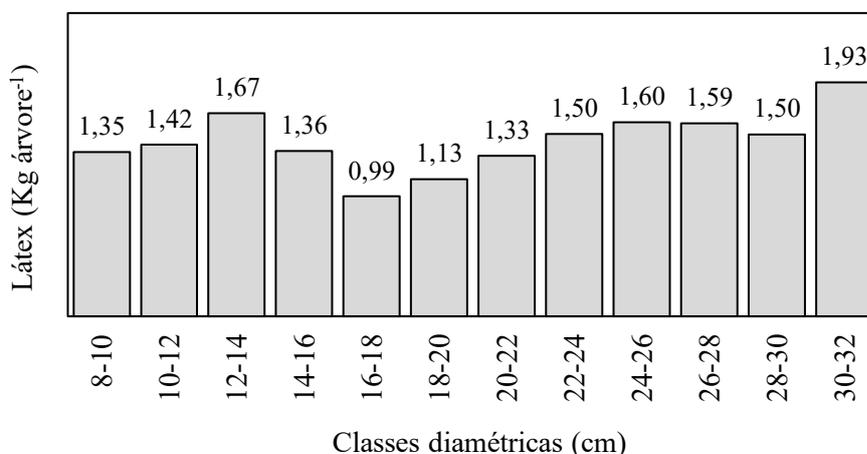


Figura 9. Distribuição diamétrica das árvores amostradas em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

As diferenças absolutas para os modelos 1 e 3 foram muito semelhantes, nas quais os maiores valores foram observados para árvores próximas ao diâmetro médio (Figura 10). O modelo 2 apresentou tendência similar, contudo, apresentou maior intensidade na subestimação na produção de látex por árvore. O modelo 4 proporcionou estimativas com menores diferenças absolutas, sobretudo para as classes mais frequentes. Independente do modelo, a amplitude de variação foi maior nas classes mais representadas, indicadas pelas barras verticais.

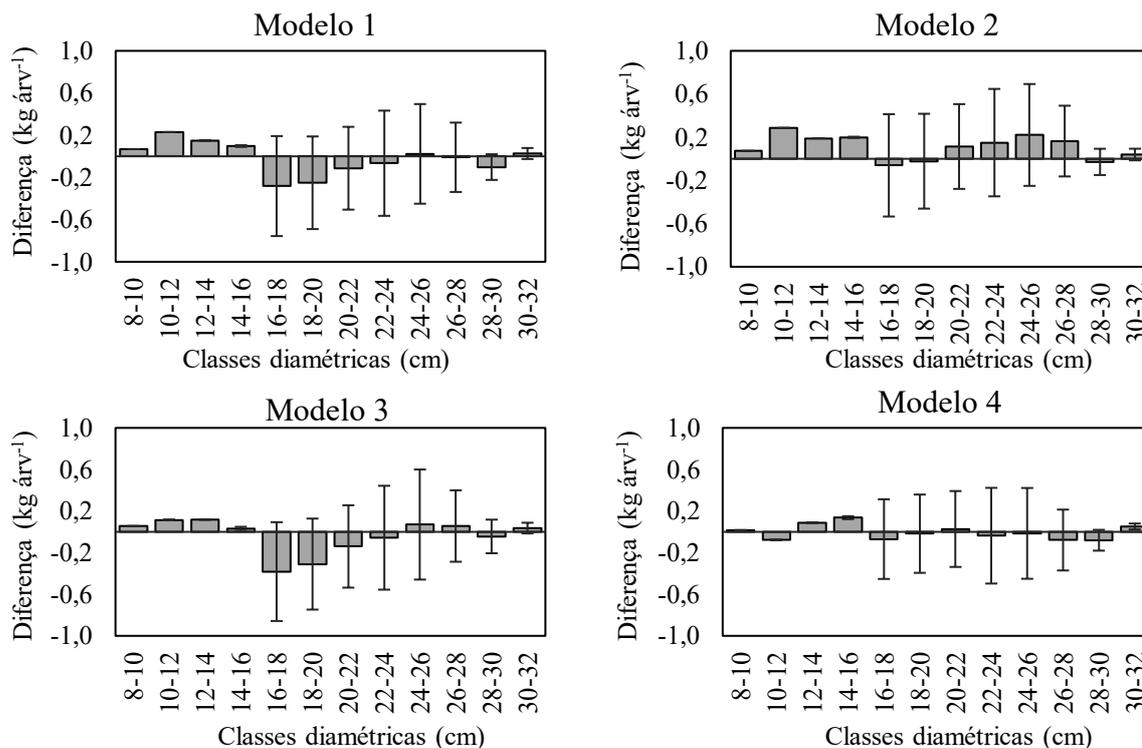


Figura 10. Diferença absoluta por classe diamétrica dos modelos desenvolvidos para estimativa de látex por árvore em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

6. PRODUÇÃO DE LÁTEX POR UNIDADE AMOSTRAL

A seleção das variáveis a compor os modelos da produção de látex por unidade amostral (L) se deu de forma semelhante àquela utilizada na produção de látex por árvore (*I*). Contudo, na matriz de correlação de Spearman foram consideradas apenas as variáveis dependentes L e $\ln(L)$ dado aos melhores desempenhos para o ajuste por árvore, além dos seis índices de vegetação (IV) como variáveis independentes nos modelos, estes últimos considerando as transformações mencionadas (Tabela 7).

Para compor os modelos, selecionou-se as variáveis ou suas transformação mais correlacionadas e significativas, não sendo empregada outra variação da variável. Nesta etapa, somente modelos lineares simples foram avaliados, pois os índices foram testados nos modelos de forma independente.

Tabela 7. Variáveis dependentes e independentes para o desenvolvimento de modelos para estimar produção de látex por unidade amostral, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais

Variável dependente	Variáveis independentes
L	NDVI, Ln(NDVI), NDVI ² , NDVI ⁻¹ ; GLI, Ln(GLI), GLI ² , GLI ⁻¹ ; MGVI, Ln(MGVI), MGVI ² , MGVI ⁻¹ ; MPRI, Ln(MPRI), MPRI ² , MPRI ⁻¹ ; RGVBI, Ln(RGVBI), RGBVI ² , RGBVI ⁻¹ ; RGR, Ln(RGR), RGR ² , RGR ⁻¹
Ln(L)	NDVI, Ln(NDVI), NDVI ² , NDVI ⁻¹ ; GLI, Ln(GLI), GLI ² , GLI ⁻¹ ; MGVI, Ln(MGVI), MGVI ² , MGVI ⁻¹ ; MPRI, Ln(MPRI), MPRI ² ; MPRI ⁻¹ RGVBI, Ln(RGVBI), RGBVI ² ; RGBVI ⁻¹ RGR, Ln(RGR), RGR ² , RGR ⁻¹

Em que: L = produção do látex por parcela; NDVI; Normalized Difference Vegetation Index; GLI = Green Leaf Index; MGVI = Modified Green Red Vegetation Index, MPRI = Modified Photochemical Reflectance; RGVBI = Red Green Blue Vegetation Index; RGR = Red/Green Reflectance Ratio.

No total, 12 modelos foram testados para estimar a produção de látex por unidade amostral por meio dos índices de vegetação (Tabela 8). Os melhores modelos para estimar a produção de látex foram os modelo 4 e 10, ambos com maior coeficiente de determinação (0,98) e menor erro padrão da estimativa (13,51%) quando comparado aos outros modelos. O modelo 4 foi ajustado em função da produção de látex sem nenhuma modificação, enquanto o modelo 10 foi ajustado em função da produção de látex logaritimizada. O índice de vegetação utilizado no modelo 4 e 10 foi o Green Leaf Index (GLI). No modelo 4, o ajuste foi realizado com o inverso do índice de vegetação, enquanto no modelo 10 o ajuste foi realizado com o logaritmo do índice de vegetação.

Tabela 8. Coeficientes estimados e estatísticas de avaliação no ajuste de modelos para estimar a produção de látex por árvore, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais

Modelos	Equações	β_0	β_1	R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$
1	$L = \beta_0 + \beta_1 RGBVI^{-1}$	-3,6624 ^{ns}	2,4960*	0,98	13,76
2	$L = \beta_0 + \beta_1 (MGRVI^2)$	128,1111 ^{ns}	2.208,4511*	0,96	20,97
3	$L = \beta_0 + \beta_1 \ln(MPRI)$	-317,3260 ^{ns}	-22,3738*	0,98	16,75
4	$L = \beta_0 + \beta_1 GLI^{-1}$	3,0450 ^{ns}	1,0564*	0,98	13,51
5	$L = \beta_0 + \beta_1 \ln(NDVI)$	-88,2372 ^{ns}	-62,0449*	0,98	16,45
6	$L = \beta_0 + \beta_1 (RGR)$	-844,4799 ^{ns}	66,3001*	0,98	17,07
7	$\ln(L) = \beta_0 + \beta_1 \ln(RGBVI)$	1,1475 ^{ns}	-1,2906*	0,98	13,81
8	$\ln(L) = \beta_0 + \beta_1 (MGRVI^2)$	5,1820 ^{ns}	157,8636*	0,87	39,66
9	$\ln(L) = \beta_0 + \beta_1 \ln(MPRI)$	-2,0433 ^{ns}	-1,5927*	0,98	15,50
10	$\ln(L) = \beta_0 + \beta_1 \ln(GLI)$	0,7938 ^{ns}	-1,0122*	0,98	13,51
11	$\ln(L) = \beta_0 + \beta_1 \ln(NDVI)$	1,6182 ^{ns}	-4,4145*	0,98	16,10
12	$\ln(L) = \beta_0 + \beta_1 (RGR)$	-10,5867 ^{ns}	4,7216*	0,98	16,43

Em que: R^2_{ajust} = coeficiente de determinação; $S_{yx}\%$ resíduos em porcentagem; β_0, β_1 = coeficientes de regressão estimados; N = número do modelo; L = produção de látex; * = coeficiente de regressão estimado significativo; ns = coeficiente de regressão estimado não significativo.

Conforme a dispersão dos resíduos (Figura 11), todos os modelos, independente da variável dependente, promoveram estimativas de produção de látex viesadas, pouco flexíveis, promovendo superestimativas em unidades amostrais com menor produção de látex e subestimativas em unidades amostrais mais produtivas.

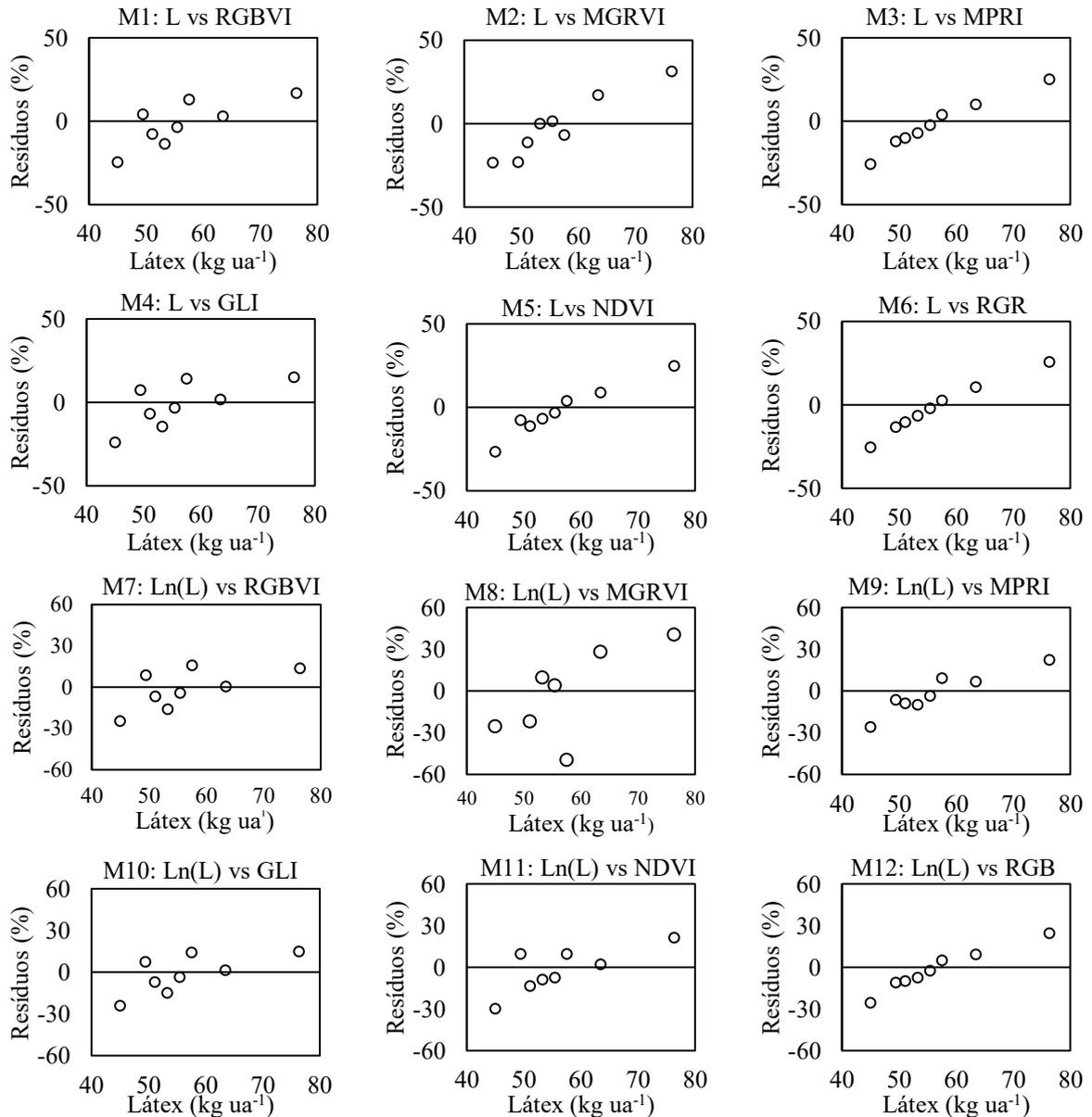


Figura 11. Dispersão dos resíduos percentuais para os modelos testados para estimar produção de látex por unidade amostral (ua) em função de índices de vegetação, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

7. SIMILARIDADE DAS ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DE LÁTEX

De posse das equações para estimar a produção de látex por árvore, assim como das equações para estimar essa mesma variável por unidade amostral, as estimativas de cada uma

foram comparadas com os respectivos valores observados. Os resultados do teste de Graybill (1976) estão apresentados nas Tabelas 9 e 10.

Nenhuma das equações desenvolvidas gerou estimativas estatisticamente semelhantes aos valores observados de produção de látex por árvore (Tabela 9). Resultado de certa forma esperado visto o desempenho dos modelos conforme as estatísticas de avaliação. Como as equações apresentaram sub e superestimativas, testou-se a similaridade estatística das estimativas de produção de látex por unidade amostral. Entretanto, o agrupamento das árvores das unidades amostrais não foi capaz de impedir a diferença estatística aos respectivos valores observados, embora a estatística “F” tenha se apresentado menor.

Tabela 9. Teste de Graybill para avaliar a similaridade estatística das estimativas de produção de látex por árvore e por unidade amostral aos respectivos valores observados, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais

Equação	Produção por árvore		Produção por unidade amostral	
	F _{calc}	F _{tab}	F _{calc}	F _{tab}
1	2.527,15*	3,02	97,29*	5,14
2	2.458,08*	3,02	200,00*	5,14
3	6.449,59*	3,02	87,48*	5,14
4	857,86*	3,02	66,47*	5,14

Em que: F_{calc} = estatística “F” calculada; F_{tab} = estatística “F” tabelada (α , n1, n2 gl); * = não significativo.

Para as equações de produção de látex por unidade amostral, o único índice que proporcionou igualdade estatística aos respectivos valores observados foi o GLI, com a variável dependente na escala original (L) (Tabela 10).

Tabela 10. Teste de Graybill para avaliar a similaridade estatística das estimativas de produção de látex por unidade amostral aos respectivos valores observados, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais

Equação	Variável dependente	Índice	F _{calc}	F _{tab}
1	L	RGBVI	6,23*	5,14
2	L	MGRVI	39,82*	5,14
3	L	MPRI	696,95*	5,14
4	L	GLI	3,87 ^{ns}	5,14
5	L	NDVI	133,38*	5,14
6	L	RGR	4.299,62*	5,14
7	Ln(L)	RGBVI	101,92*	5,14
8	Ln(L)	MGRVI	39,82*	5,14
9	Ln(L)	MPRI	696,95*	5,14
10	Ln(L)	GLI	127,55*	5,14
11	Ln(L)	NDVI	133,38*	5,14
12	Ln(L)	RGR	4.299,62*	5,14

Em que: F_{calc} = estatística “F” calculada; F_{tab} = estatística “F” tabelada (α , n1, n2 gl); * e ^{ns} = significativo e não significativo, respectivamente.

Resultado corrobora com as estatísticas de avaliação dos ajustes, as quais indicaram o modelo 4 como o melhor dentre os modelos avaliados. Cabe ressaltar que o modelo 1, o qual utilizou o índice RGBVI, também apresentou estatísticas de avaliação de ajuste similares ao modelo 4, e isso refletiu no teste estatístico de Graybill, se situando próxima à significância de 5% (Tabela 10).

8. MAPAS DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

As informações da vegetação obtidas pelas imagens de sensoriamento remoto normalmente são interpretadas pelas alterações das folhas verdes das plantas, pelas características espectrais do dossel (XUE et al., 2017) e a uma série de fatores bioquímicos do vegetal (MARTINS et al., 2015). Esse alvo é composto por diversos elementos (folhas, frutos, galhos e flores), no entanto, a folha é considerada a principal influência no comportamento espectral da vegetação (PEREIRA et al., 2016).

A cor verde observada nas folhas é resultado da dominância do pigmento clorofila nesta parte da árvore. Esse pigmento absorve mais a luz na parte azul e vermelha do espectro visível, enquanto reflete os comprimentos de onda na faixa verde do espectro, resultando na cor verde que observamos nas folhas (ABDULLAH et al., 2017). Esses índices indicam o grau de vigor das plantas, sendo esperada maior produção da planta quanto mais vigorosa ela se apresente.

A vegetação pode variar seu comportamento espectral em função de alguns elementos, como a estrutura interna das folhas, a composição química e morfológica, a quantidade de água presente no alvo (SILVA et al., 2017), a maturidade fisiológica e os pigmentos presentes, como carotenoides, clorofila e antocianina (LIU, 2015).

O primeiro índice analisado neste trabalho foi o índice NDVI. Este índice é um dos mais utilizados quando deseja-se analisar a vegetação. Isso é em razão de ser um dos mais relevantes indicadores para a análise da cobertura vegetal em diferentes períodos do ano (BARROS et al., 2020).

Conforme Pezzoni Filho et al. (2018a), valores negativos deste índice indicam a presença de água; valor nulo representa solo exposto; valores próximos a 1 representam a presença de vegetação, sendo que quanto mais próximo de 1 maior será o vigor da planta. Na Tabela 10 constam a escala para os valores do índice NDVI.

A caracterização do comportamento espectral da seringueira em diferentes idades usando imagens de satélite GeoEye Ikonos foi estudada. Como resultado, os seringais mais novos, de 3 a 9 anos (sem produção de látex) não apresentaram diferenças significativas ($p >$

0,05) nos valores de NDVI, porém, os seringais em plena produção (11 a 17 anos e 26 a 32 anos) apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) nos valores de NDVI (RODRIGUES et al., 2017).

Hallé et al. (1978) e Sambugaro (2003) classificaram a fenologia da seringueira em 4 estágios em relação ao seu vigor foliar, sendo estes estágio denominados como A, B, C e D. Esta classificação foi associada ao índice NDVI por Pezzoni Filho et al. (2018a), os quais avaliaram o comportamento do vigor foliar em seringueira em diferentes fenologias de dossel utilizando o índice NDVI, utilizando uma escala do vigor foliar de A até D e uma escala em relação ao Índice NDVI variando de 1 a 7 (Tabela 11).

Tabela 11. Escala do índice normalized difference vegetation index (NDVI)

Escala de NDVI	Intervalo de NDVI	Vigor Foliar	Estádio
1	0,31 a 0,40	Muito Baixo	A
2	0,41 a 0,50	Baixo	A
3	0,51 a 0,60	Baixo	B
4	0,61 a 0,70	Médio	C
5	0,71 a 0,80	Médio	C
6	0,81 a 0,90	Alto	D
7	0,91 a 1,00	Muito alto	D

Fonte: PEZZONI FILHO et al. (2018a).

Os valores do índice de vegetação NDVI para a área de estudo variaram de 0,1966 a 0,5252 (Figura 12), sendo esta área classificada no estágio A, vigor foliar de muito baixo a baixo e índice NDVI de 1 a 3 (Tabela 11). As unidades amostrais 5 e 8 apresentaram maior vigor foliar, mesmo assim foram classificadas com vigor foliar baixo. A unidade amostral 8 apresentou valor médio de 0,4238, e a 5 um valor de 0,4096. A unidade amostra que resultou em menor vigor foliar foi a 1, com média de 0,3935.

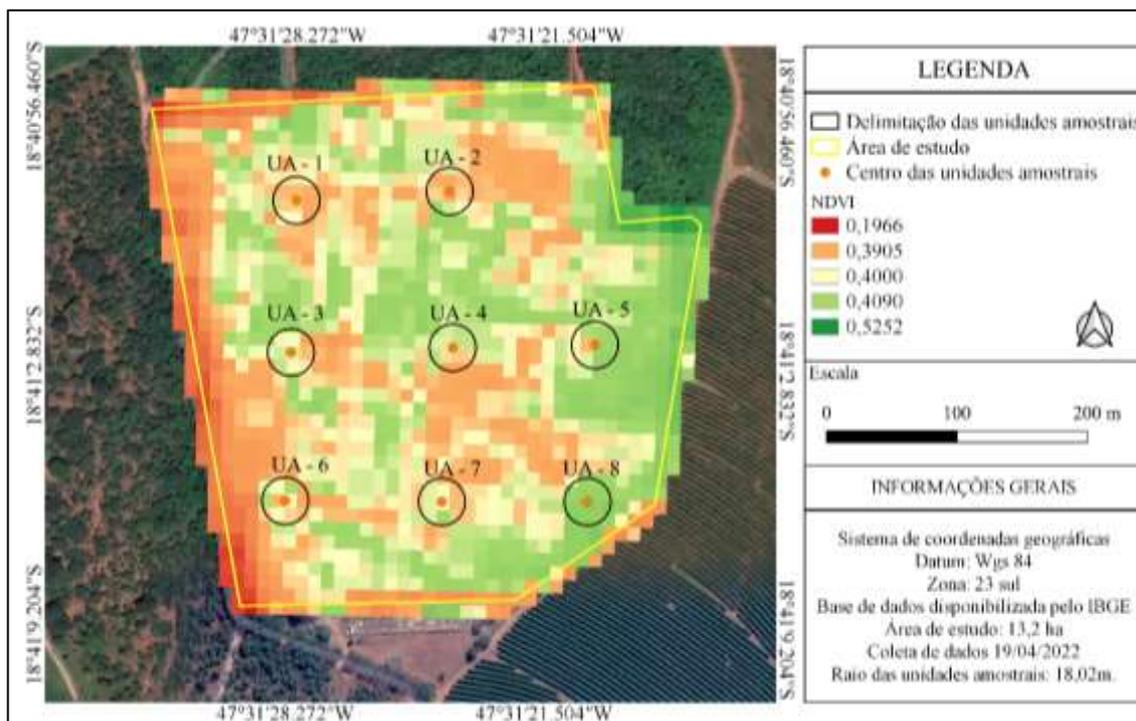


Figura 12. Mapa referente ao índice de vegetação NDVI, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

Conforme mencionado, a produção da seringueira foi baixa quando comparada à produção média de outros seringais. Com isso, esperava-se que o vigor foliar da área fosse baixa, em função de o vigor foliar estar diretamente associado à produção da cultura. O índice Green Leaf Index (GLI) permite identificar áreas que possuem maior cobertura foliar e, consequentemente, áreas que possuem maior biomassa, sendo essas informações diretamente associadas à produtividade da cultura (CASARI, 2018). O valor do GLI varia de -1 a 1, onde valores negativos representam vegetação menos vigorosa ou solo exposto e valores positivos representam plantas mais vigorosas (ROCHA, 2021).

Os valores do índice GLI na área de estudo variaram de -0,0468 a 0,0415 (Figura 13), gerando valores semelhantes aos do NDVI. Pelos resultados encontrados nos dois índices, área estudada apresentou baixo vigor foliar, onde as unidades amostrais mais vigorosas foram 5 e 8, e as menos vigorosas foram 1 e 2. Os índices GLI e VARI foram utilizados no intuito de avaliar um pomar de oliveiras e suas possíveis interações na região do Rio Grande do Sul (SANTOS et al., 2020). Neste trabalho, os valores do índice GLI variaram de -0,035 a 0,104, em que os maiores valores foram associados às copas mais vistosas, perfazendo o índice que melhor representou a realidade do pomar. Os valores encontrados para o índice GLI nesta cultura de oliveira apresentaram intervalos semelhantes aos encontrados para a cultura de seringueira,

sendo um dos que melhor apresentou correlação para estimar a produção da seringueira estudada.

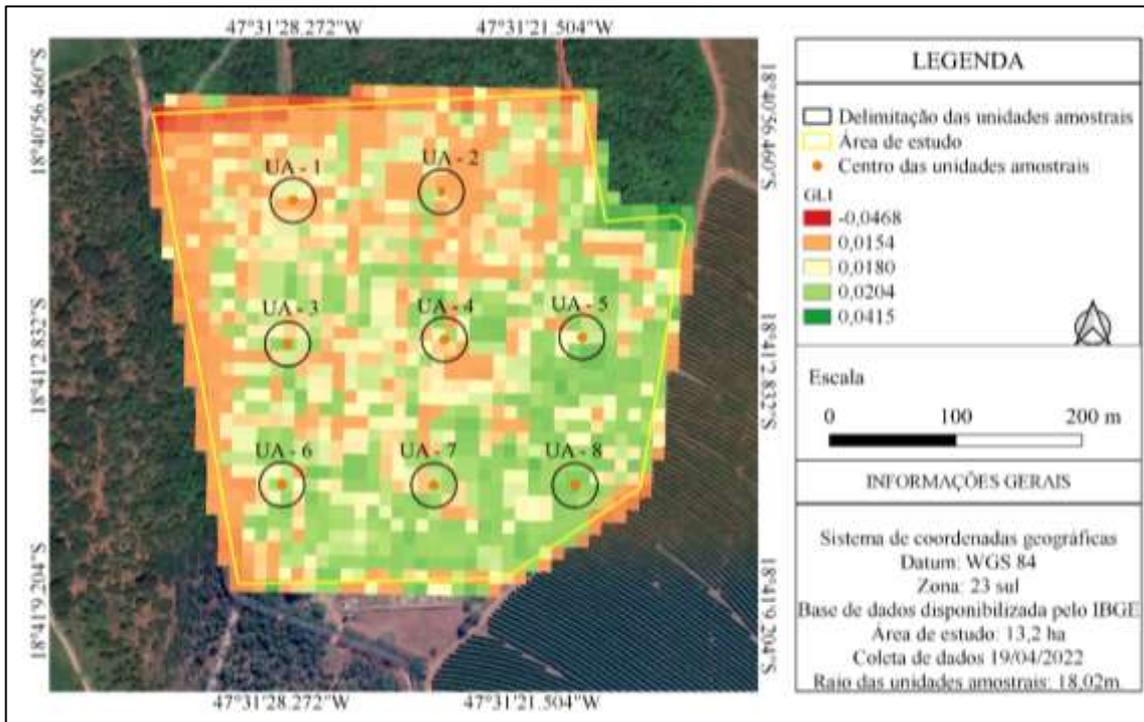


Figura 13. Mapa referente ao índice de vegetação GLI, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

Os índices MGRVI, MPRI, RGBVI apresentaram comportamentos semelhantes, os quais indicaram as unidades amostrais 4, 8 e 7 como as mais vigorosas (Figuras 14, 15 e 16).

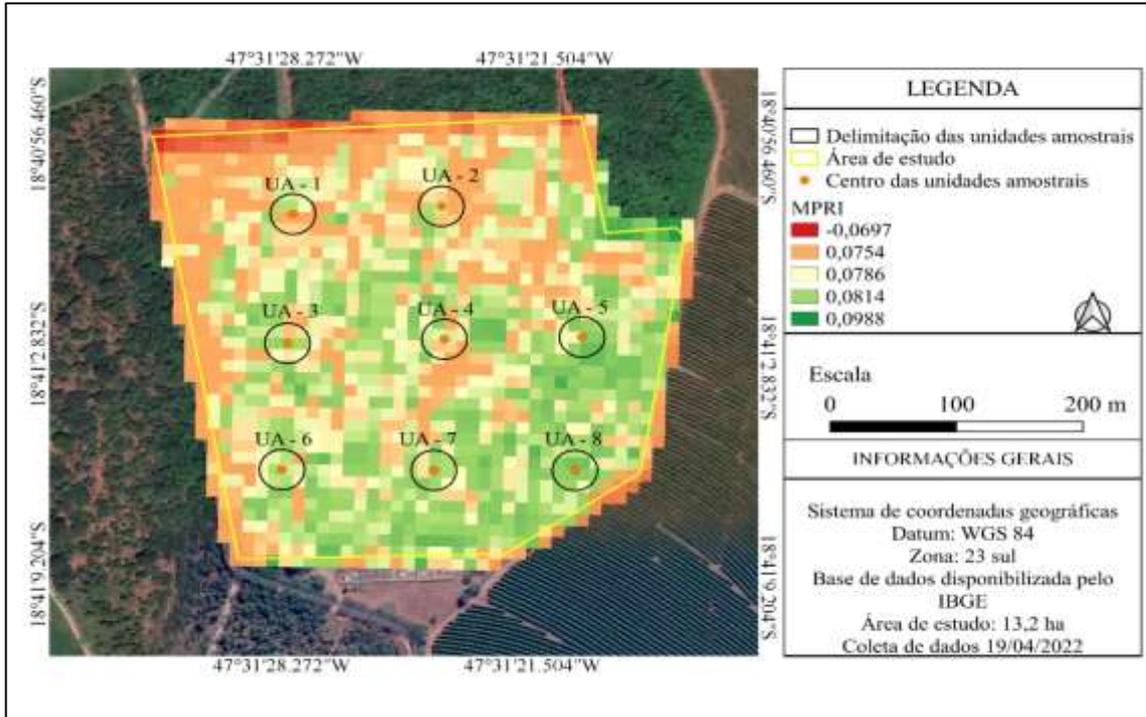


Figura 14. Mapa referente ao índice de vegetação MPRI, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

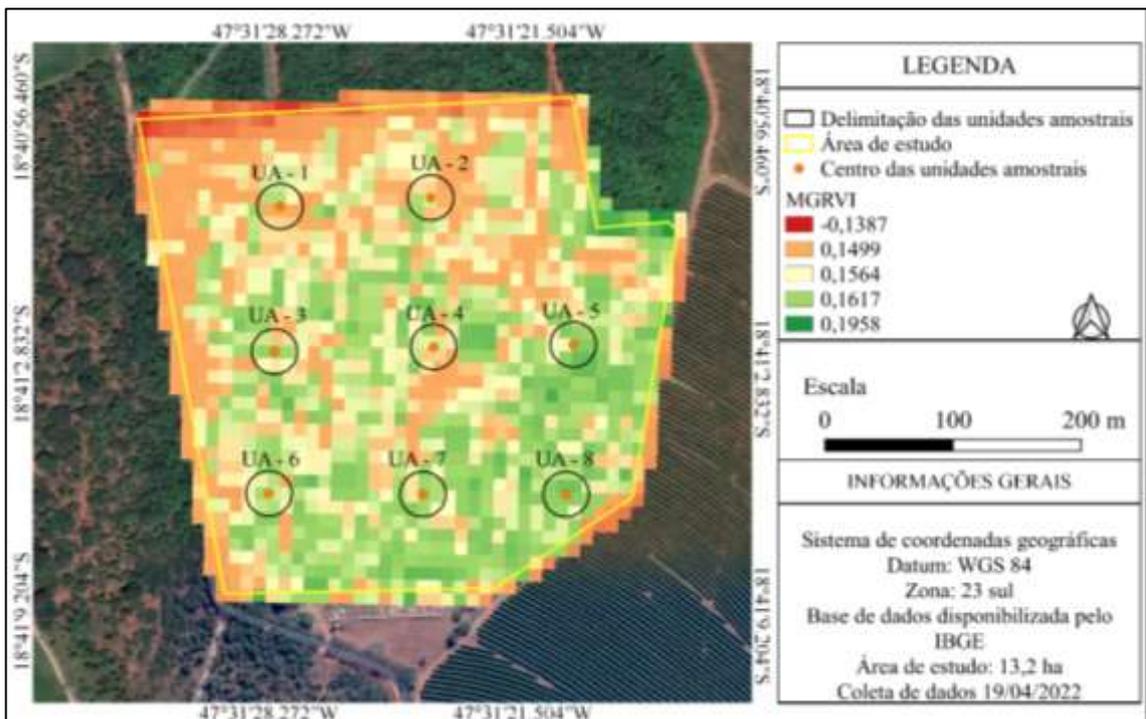


Figura 15. Mapa referente ao índice de vegetação MGRVI, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

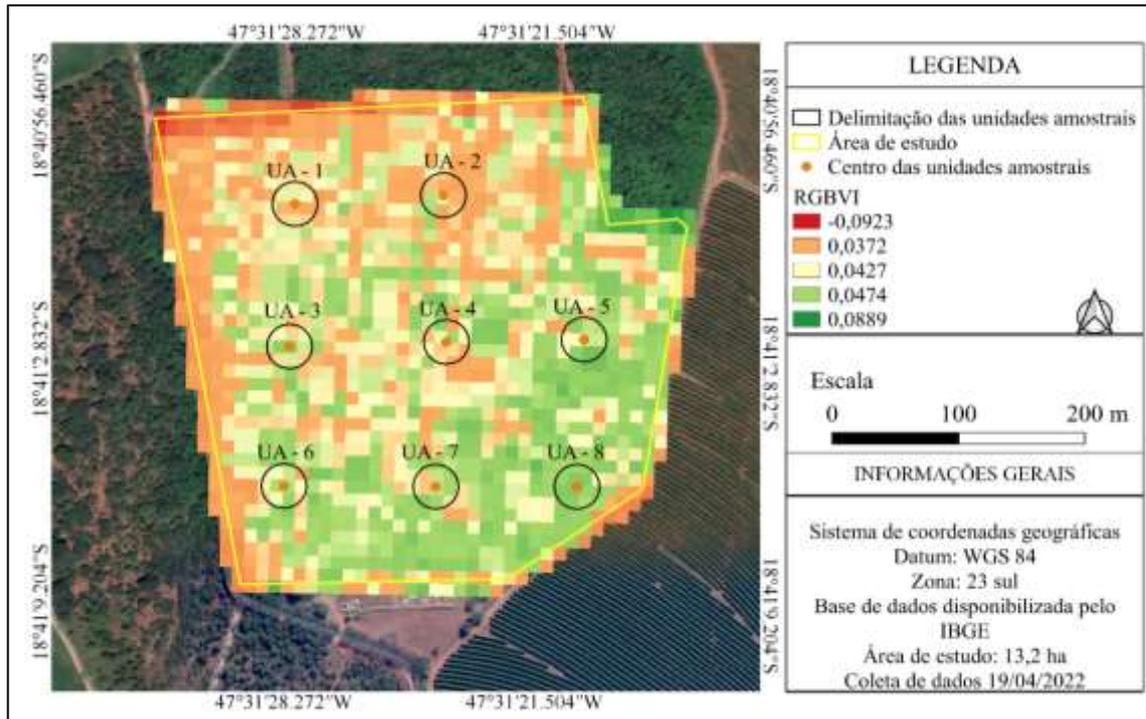


Figura 16. Mapa referente ao índice de vegetação RGBVI, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

O índice RGR foi desenvolvido com o objetivo de detectar características fundamentais dos espectros de classes da antocianina (GAMON e SURFUS, 1999). A Antocianina é um pigmento vegetal que está relacionado ao status fisiológico das plantas (LOPES et al., 2017). O comportamento espectral de uma planta quando são utilizados índices que utilizam a banda verde em sua formulação tende a exibir maior sensibilidade na presença deste pigmento (VIÑA e GITELSON, 2011) devido ela agir como um filtro da luz visível.

Em estudo realizado por Clemente (2021), com objetivo de validar a estimativa de antocianina, clorofila e carotenoides em germoplasma de alface roxa e verde, a partir de imagens RGB, as alfaces sem antocianina apresentaram aumento da refletância e transmitância na região espectral verde (501-565 nm), enquanto os valores diminuíram na presença de antocianina, refletindo mais na região espectral do vermelho. Plantas com presença de antocianina relativamente alta tendem a exibir reflectância reduzida de verde, devido as antocianinas absorverem a radiação espectral verde (FALCIONI et al., 2020).

Quando a planta passa por processos, como expansão foliar, senescência e estresses abióticos, são produzidos na planta síntese de antocianina nas camadas epidérmicas das folhas (DO CARMO ARAÚJO et al., 2009). Conforme Close e Beadle (2003), as funções ecofisiológicas das antocianinas nas plantas são solutos compatíveis que contribuem para a

ajustamento osmótico em condições de estresse por seca e frio, proteção contra a luz UV e a luz visível.

Ao realizar foto inibição induzida pelo frio em mudas de *Eucalyptus nitens* e *E. globulus*, Close (2001) observou aumento da síntese de antocianina como resultado da fotoinibição induzida pelo frio, indicando o papel fotoprotetor das antocianinas. O requerimento para fotoproteção, quando folhas são expostas a condições de alta intensidade luminosa, tem mostrado que as antocianinas possuem um papel fotoprotetor (CLOSE e BEADLE, 2003).

Como exposto, a antocianina apresenta papel fotoprotetor quando as plantas estão submetidas a alguma condição de estresse. O comportamento do mapa referente ao índice RGR (Figura 17), nos remete a uma vegetação que não está com a sua capacidade máxima de produção, podendo ser reflexo de deficiência nutricional, forma de manejo, estresse gerados por fatores climáticos, ou até mesmo o estado fenológico do seringueiral, os quais implicam na baixa produção de látex, pois, como mencionado, a produção do látex é influenciada por diferentes variáveis. Cabe ressaltar que não foi o objetivo deste trabalho avaliar se a área estava passando por algum tipo de estresse sendo necessário avaliar esses parâmetros em campo.

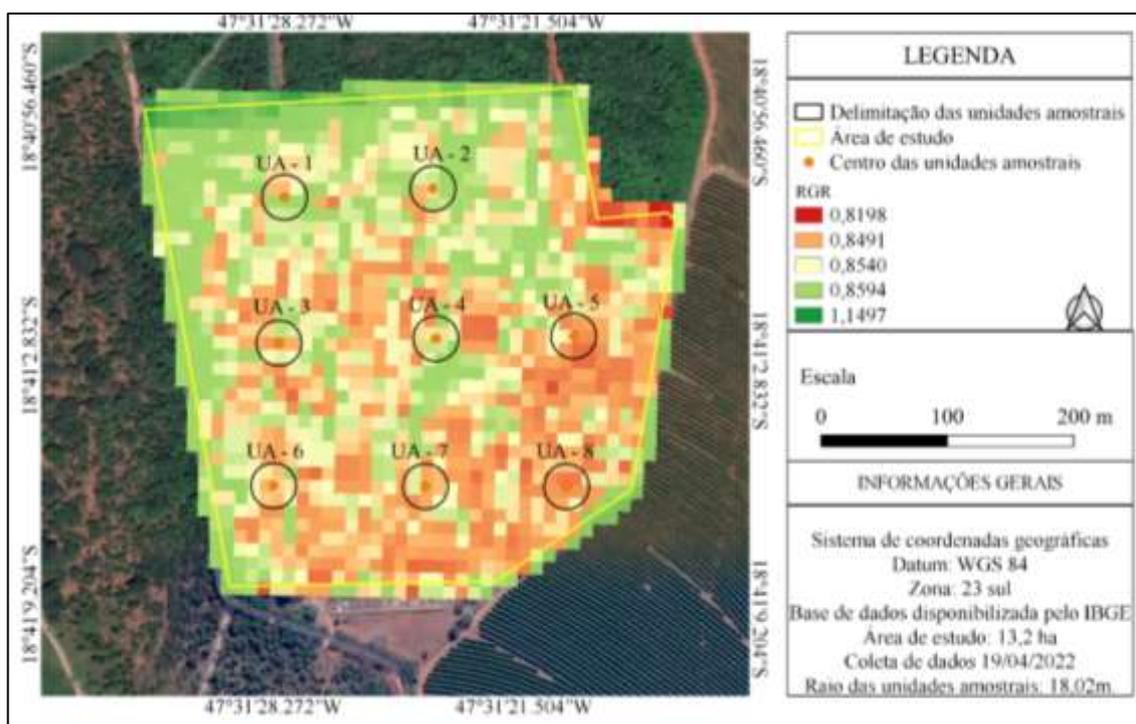


Figura 17. Mapa referente ao índice de vegetação RGR, em plantio de seringueira no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

Conforme os resultados obtidos, as variáveis dendrométricas analisadas não foram capazes de proporcionar estimativas adequadas de produção de látex, tanto por árvore quanto

por unidade amostral. Este resultado se deve ao fato de a produção de látex ser influenciada por muitos fatores, os quais devem ser testados nos modelos de produção da seringueira, como o tamanho do painel e o ângulo das linhas de sangria.

Seria relevante a realização de estudos com imagens obtidas a partir de imagens de satélite que apresente uma resolução melhor como o Planet, CBERS 2. Além disso, que essas imagens fossem obtidas ao longo dos meses, visto que a produção da seringueira varia ao longo do ano, permitindo analisar melhor o seu comportamento espectral, juntamente com a sua produção. Isso permitiria o desenvolvimento de modelos provavelmente mais acurados. Finalmente, é essencial a análise de desempenho de outras técnicas de prognoses, como as redes neurais artificiais, sobretudo pelo número de variáveis que influenciam na produção de látex.

9 CONCLUSÃO

- Árvores com maiores diâmetros à altura do peito apresentaram maior produção de látex;
- A variável que mais contribuiu na obtenção das estimativas de produção de látex por árvore foi o diâmetro à altura do peito. Contudo, as variáveis dendrométricas analisadas não foram capazes de proporcionar estimativas adequadas de produção de látex por árvore;
- A produção de látex por hectare na área analisada foi inferior quando comparada a outros plantios tecnificados. Contudo, a produção por árvore foi maior às encontradas em publicações;
- O índice de vegetação GLI foi o único que proporcionou estimativas de produção de látex por unidade amostral sem diferença estatística em relação aos valores observados, sendo considerado adequado para representar o comportamento da área de estudo;
- Por meio da análise dos índices NDVI, o plantio se encontra no estágio A e o seu vigor foliar está classificado de muito baixo a baixo, explicando a baixa produção de látex por unidade de área;
- Os índices de vegetação indicaram a possibilidade de a área está sofrendo algum tipo de estresse, sendo mais um indicativo do índices de produção observados.

10 REFERÊNCIAS

ABDULLAH, W. M.; YAAKOB, S. N. Modified excess green vegetation index for uneven illumination. **International Journal of Current Research**. v. 9, p. 48656-48661, 2017.

ALMEIDA, S. L.; CARNEIRO, F. M.; SILVA, R. P.; ZERBATO, C. Sensoriamento remoto na cultura do amendoim. **Associação Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Jaboticabal**. 1 ed., p. 60 a 61, 2019. Disponível em:< [hp://areajaboticabal.org.br/pdf/livro_01.pdf](http://areajaboticabal.org.br/pdf/livro_01.pdf)>. Acesso em: 15 mai. 2020.

ALVARENGA, A. P. Versatilidade e lucro no cultivo da seringueira. **Campos e negócios**, 2020. Disponível em: < <https://revistacampoenegocios.com.br/versatilidade-e-lucro-no-cultivo-da-seringueira/>> . Acesso em: 06 jun. 2022.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONCALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. Doi:< [hps://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507)>. Acesso em: 18 set. 2020.

ALBA, O. M. F. Modelagem SIG em agricultura de precisão: conceitos, revisão e aplicações. **Embrapa Clima Temperado**, p. 84 - 96, 2014. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/115141/1/Filipini-84-Agricultura-de-precisao-2014.pdf>>_Acesso em: 14/05/2022.

ANDRADE, J. M. A. **Estimativa da sobrevivência de rebrotas em povoamento de Eucalyptus spp com uso de veículo aéreo não tripulado (vant)**. 44. f. Bacharel em Ciência da Computação. Jaboticabal, 2019.

ANDRADE, R.; HOTT, M. C.; DE MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P.; OLIVEIRA, P. D.; OLIVEIRA, J. Uso de veículo aéreo não tripulado (vant) no monitoramento dos estádios de desenvolvimento da cultura do milho. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, p. 225-234, 2019.

ARAÚJO, C. S. A. DO; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 4, 2009.

ARAUJO, V. G.; ACCIOLY, P.; Uso do Sensoriamento Remoto na Estimativa da Densidade de Povoamentos Florestais. **Brazilian Journal of Technology**, v. 2, n. 3, p. 758-783, 2019. Disponível em :< <http://www.brazilianjournals.com/index.php/BJT/article/view/6701>>. Acesso em: 14 mai. 2020.

Associação Paulista de Produtores e Beneficiadores de Borracha – **APABOR**: Produção vegetal e qualidade da Sangria. São José do Rio Preto, 2014.

BARROS, A. S.; FARIAS, L. M.; MARINHO, J. L. A. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro Do Norte–CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2885-2895, 2020.

BENDIG, J.; YU, K.; AASEN, H.; BOLTEN, A.; BENNERTZ, S.; BROSCHEIT, J.; BARETH, G. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 39, p. 79–87, 2015.

Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303243415000446> >

Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.02.012>.

BONFATTI JÚNIOR, E. A.; LENGOWSKI, E. C.; REESE, E. Monitoramento da sobrevivência de Eucalyptus spp. por imagens obtidas por VANTs. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 220 - 226, 2019. Disponível em:< <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/911>> DOI: 10.13083/reveng.v27i3.911 Acesso em: 14 mai. 2020.

CASARI, G. H. C. N. **Estimativa de biomassa por sensoriamento remoto: um potencial para avaliação da produção de energia**. 2018. 68. f. (Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia) - Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2018.

CLEMENTE, A. A. **Teores de antocianinas, carotenoides e clorofilas em germoplasma de alface roxa e verde a partir de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada**. 2021. Dissertação (Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais) - Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2021.

CLOSE, D. C. Cold-induced photoinhibition, pigment chemistry, growth and nutrition of Eucalyptus nitens and E. globulus seedlings during establishment. **Thesis**, 2001.

CLOSE, D.C.; BEADLE, C.L. The ecophysiology of foliar anthocyanin. **The Botanical Review**, v. 69, n. 2, p. 149-161, 2003.

CUNHA NETO, E. M.; BEZERRA, J. C. F.; ANDRADE, J. S.; MAR, A. L.; VAZ, M. M.; ROCHA, J. E. C.; MELO, M. R. S.; ALVES, G. A. R. Redes neurais artificiais e regressão na estimativa da altura em povoamento experimental misto e equiâneo. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 3, p. 60 – 68, 2018.

DIAMANTOPOULOU, M. J. Assessing a reliable modeling approach of features of trees through neural network models for sustainable forests. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, v. 2, n. 4, p.190–197, 2012.

SOUSA MACEDO, C. E.; DE ALENCAR, C. M. S.; STEFANUTTI, R.; DE OLIVEIRA, U. C. Detecção da variação de cobertura vegetal a partir da estimativa do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na unidade de conservação do Parque Estadual das Carnaúbas-CE com utilização de técnicas do sensoriamento remoto. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 2, p. 477-485, 2020.

Disponível em:< [hps://www.journalcra.com/article/modified-excess-green-vegetation-index-uneven-illumination](https://www.journalcra.com/article/modified-excess-green-vegetation-index-uneven-illumination) >. Acesso em: 14 mai. 2020.

FALCIONI, R.; MORIWAKI, T.; PATTARO, M.; FURLANETTO, R. H.; NANNI, M. R.; ANTUNES, W. C. High resolution leaf spectral signature as a tool for foliar pigment estimation displaying potential for species differentiation. **Journal of plant physiology**, v. 249, p. 153-161, 2020. DOI [hps://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153161](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153161).

FARIAS, A. A. **Uso de regressão quantílica na predição da produção de povoamentos de eucalipto**. 2018. 36 f. (Dissertação de mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

FIALHO, J. F; PEREIRA, A. V; PEREIRA, E. B. C; LIMA, W. A. A; MALAQUIAS, J. V. Competição de clones de seringueira no Distrito Federal. VI Congresso Brasileiro de Heveicultura - Embrapa Cerrados, Belo Horizonte /MG, 2019.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. Sensoriamento remoto em agricultura. São Paulo. **Oficina de textos**, ed.1, 2017.

GAMA, J. R. V.; VIEIRA, D. S. SANTOS, S. B.; SANTOS, M. R. G. Potencial de produção dos seringais de Jamaraquá, estado do Pará. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v.4, n.1, p.77-82, 2017.

GAMON, J. A.; SURFUS, J. S. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. **New Phytol**, 143, p. 105–117, 1999. Disponível em:< <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1046/j.1469-8137.1999.00424.x> > Doi: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1999.00424.x>. Acesso em: 03/06/2020.

GRAYBILL, F. A. **Theory and Application of the Linear Model**. Belmont: Duxbury Press, p. 1976. 704.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. 5. Ed. Porto Alegre: McGraw-Hill Bookman, 2011.

GOERGEN, L. C. G.; SOARES, J. C. W.; BERRA, E. F.; BRANDELERO, C.; PEREIRA, R. S. Índices espectrais para avaliação da dinâmica sazonal de clorofilas em folhas de *Eucalyptus grandis*. **Rev. Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 35, n. 82, p. 55-61, 2015. Disponível em:< <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/841> > Doi: 10.4336/2015.pfb.35.82.841 Acesso em: 15/05/2022.

HALLÉ, F; OLDEMAN, R. A.; TOMLINSON, P. B. Opportunistic tree architecture. In: **Tropical trees and forests**. Springer, Berlin, Heidelberg, 429 p. 1978.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Past: Paleontological Statistics package for education and data analysis. **Paleontologia Electronica**, 2001.

HEBBALI, A. **olsrr: Tools for Building OLS Regression Models**. R package version 0.5.3., 2020. Disponível em< <https://CRAN.R-project.org/package=olsrr>>. Acesso em 20 jun. 2022.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2021**. Disponível em:<
[hps://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf](https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf)> Acesso em: 16/ jun.
2022.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Centro de Seringueira e sistemas agroflorestais** - IAC (2022). Disponível em:<
[hps://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/seringueira/seringal.php#:~:text=Normalmente%2C%20em%20seringais%20preferem%2Dse,\(espa%C3%A7amento%204%20x%203m.\)>](https://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/seringueira/seringal.php#:~:text=Normalmente%2C%20em%20seringais%20preferem%2Dse,(espa%C3%A7amento%204%20x%203m.)>).
Acesso em: 20 jul. 2022.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Programa Seringueira** - IAC (2004). Disponível em: <
[hp://www.iac.sp.gov.br/centros/centro_cafe/seringueira/programa%20seringuiera.hm](http://www.iac.sp.gov.br/centros/centro_cafe/seringueira/programa%20seringuiera.hm). >. Acesso em: 20 jul. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**: IBGE; 2020. Disponível em:<
<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2020> > Acesso em: 20 Ago. 2022.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Custos de Produção e Rentabilidade da Cultura da Seringueira: Safra 2018/19. **Análise e indicadores do agronegócio**, v. 14, n. 2, 2019.

JARAMILLO-GIRALDO, C.; SOARES FILHO, B.; RIBEIRO, S. M. C.; GONCALVES, R. C. Is it possible to make rubber extraction ecologically and economically viable in the Amazon? The Southern Acre and Chico Mendes Reserve case study. **Ecological Economics**, v. 134, p. 186 – 197, 2017.

KAFER, P. S.; REX, F. E.; SANTOS, M.; SEBEM, E. Caracterização espectral e ndvi de espécies florestais das famílias fabaceae, myrtaceae, rutaceae e salicaceae. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.13, n. 23; p. 262, 2016.

LAVORENTI C; GONÇALVES P. D. S, CARDOSO M; BOAVENTURA M. M. Relação entre diferentes caracteres de plantas jovens de seringueira. *Bragantia*, v. 49, p. 93-103, 1990.

LEAL, F. A.; MIGUEL, E. P.; MATRICARDI, E. A. T; PEREIRA, R. S. Redes neurais artificiais na estimativa de volume em um plantio de eucalipto em função de fotografias hemisféricas e número de árvores. **Brasil Bioma**, v. 33, n. 2, p. 233-249, 2015.

LIMA FILHO, R. R. DE. Queda no preço do látex. **Agro ANALYSIS**, v. 38, n. 8, p. 16-18, 2018.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Oficina de textos, 2ª ed, 2015.

LOPES, D. DE C.; MOURA, L. DE O.; STEIDLE NETO, A. J.; FERRAZ, L. DE C. L.; CARLOS, L. DE A.; MARTINS, L. M. Spectral indices for non-destructive determination of lettuce pigments. **Food Analytical Methods**, v. 10, n. 8, p. 2807-2814, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-017-0853-y>.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M.M.; JOHNSON, D. E. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. **Geocarto International**. v. 16, n. 1, p. 65 – 70, 2001. Disponível em:< [hps://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10106040108542184](https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10106040108542184) > Doi: [hps://doi.org/10.1080/10106040108542184](https://doi.org/10.1080/10106040108542184) Acesso em: 03/06/2020.

MANTELO, C. C; BOATWRIGH, L; SILVA, C. C; SCALOPPI JR, E. J; GONCALVES, P. S; BARBAZUK, W. B; SOUZA, A. P Deep expression analysis reveals distinct cold-response strategies in rubber tree (*Hevea brasiliensis*). **BMC Genomics**, v. 20, n. 455, 2019.

MARTINS, G. D.; GALO, M. L. B. T. Caracterização espectral da cana-de-açúcar infectada por nematoides e *Migdolus fryanus* por espectrorradiometria de campo. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 21, n 4, p.783-796, out-dez, 2015. Disponível em: < [hps://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S198221702015000400783&lng=pt&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S198221702015000400783&lng=pt&tlng=pt)> Doi: [hp://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000400046](https://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000400046) Acesso em: 18 mai. 2020.

MARTINS, M. T.; MARANGON, G. P.; COSTA, E. A.; SILVEIRA, B. D.; CUBAS, R.; CAVALLI, J. P. Estimação da altura de plantios florestais de eucalipto por regressão e redes neurais artificiais. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 141-152, 2020. Disponível em:<dx.doi.org/10.5380/biofix.v5i1.68839> Acesso em: 21/ 05/2022.

MESQUITA, A. C.; OLIVEIRA, L. E. M.; CAIRO, P. A. R.; VIANA, A. A. M.; Sazonalidade da produção e características do látex de clones de seringueira em Lavras, MG. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.4, p.633-639, 2006. Disponível em: <
[hps://www.scielo.br/scielo.php?pid=s000687052006000400014&script=sci_abstract&tlng=es](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=s000687052006000400014&script=sci_abstract&tlng=es)
> Doi: [hp://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052006000400014](http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052006000400014). Acesso em 14 mai. 2020.

MIRANDA, R. O. V.; FIGUEIREDO FILHO, A.; EBLING, Â. A.; DAVID, H. C.; ROIK, M. Individual models for diameter and height projection with contribution of competition index in *Pinus taeda* L. stands. **Floresta**, v. 52, n. 1, p. 179-188, 2022.

MORAES, V. H. D. F.; MORAES, L. A. C.; MOREIRA, A.; SOUZA, N. P. D.; YOKOYAMA, R., PEREIRA, A. V.; FIALHO, J. D. F. Desempenho de clones de copa e painel de seringueira no sudoeste do Estado do Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 597-604, 2013.

NOGUEIRA, E. M.; FEARNSIDE, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R. I.; KEIZER, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 11, p. 1853–1867, 2008.

PEREIRA, L. E.; LASTORIA, G.; PARANHOS FILHO, A. C.; MARCATO JUNIOR, J. Aplicação de Técnicas de Processamento Digital de Imagens em Diferentes Sensores Orbitais. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 39, p. 15-24 2016. Disponível em:<
[hp://www.anuario.igeo.ufrj.br/2016_3/2016_3_15_24.pdf](http://www.anuario.igeo.ufrj.br/2016_3/2016_3_15_24.pdf)>Doi:[hp://dx.doi.org/10.11137/2016_3_15_24](http://dx.doi.org/10.11137/2016_3_15_24) Acesso em: 18 mai. 2020.

PEREIRA, L. S.; SILVA, D. O.; PAMBOUKIAN, S. V. D. Sensoriamento remoto aplicado à agricultura de precisão no cultivo de bambul. **Mackenzie de engenharia e computação**, São Paulo, v.16, n.1, p. 8-33, 2016. Disponível:<
[hp://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/article/view/9972/6662](http://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/article/view/9972/6662) >Acesso em: 18 mai. 2020.

PEZZONI FILHO, J. C.; LESSA, L. G. F.; FILGUEIRAS, R.; LEDA, V. C.; ZIMBACK, C. R. L.; FURTADO, E. L. Comportamento do vigor foliar em seringueira em diferentes fenologias de dossel. **Nativa**, v. 6, n. 5, p. 497-506, out. 2018a.

PEZZONI FILHO, J. C.; LESSA, L. G. F.; ZIMBACK, C. R. L.; FURTADO, E. L. Dossel de seringueira verificado com índices de vegetação em diferentes condições fenológicas e fitossanitárias. **Acta Iguazu**, v. 7, n. 2, p. 29-47, 2018b. Disponível em:< [hp://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/16656](http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/16656)> Acesso em: 22 mai. 2020.

RAHMAN, A. Y.A.; USHARRAY, A. O.; MISRA, B. B. et al. Draft genome sequence of the rubber tree *Hevea Brasiliensis*. **BMC Genomics**, v. 14, n. 75, p. 1- 15, 2013.

ROCHA, B. P. J. S. **Índices espectrais para gestão do controle químico de plantas daninhas em povoamento de eucalipto**. 2021.

RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R.; CARDOSO, R. N.; GARCON, E. A. M.; TAKEMURA, C. M. Índice de vegetação em seringais de diferentes idades nos anos 2016 e 2017. **Embrapa Monitoramento por Satélite**, Campinas, 1 ed., 2017. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085449/indice-de-vegetacao-em-seringais-de-diferentes-idades-nos-anos-2016-e-2017>> Acesso em: 22 mai. 2020.

ROUSE, J. W. R. H.; HASS, J. A.; SCHELL, D. W. DEERING. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Proceedings of the Third ERTS Symposium, v. 1, 1973.

SAMBUGARO, R. **Caracterização anatômica foliar de clones de seringueira (*Hevea spp.*) visando resistência ao *Microcyclus ulei***. 2003. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2003.

SANTOS, F. L. DOS; MARTINS, M. T.; LOPES, S. C. DE; IVO, M.; PFEIFER, G. P. M. Avaliação de índices de vegetação da faixa do visível (RBG) calculados a partir de imagens de VANT em um pomar de oliveiras. In: II Simpósio Potiguar de Pós-Graduação em Ciências Florestais, 2020.

SANTOS, L. H. O.; RAMIREZ, G. M.; ROQUE, M. W.; CARVALHO, M. P. L. C. E.; DIAZ, L. M. G. R.; CARVALHO, S. P. C. E. Correlação entre uniformidade e ndvi em povoamentos de tectona grandis. **Biofix Scientific Journal**, v. 4, n. 2, p. 130-136, 2019. Disponível em:< [hps://revistas.ufpr.br/biofix/article/view/65085](https://revistas.ufpr.br/biofix/article/view/65085)> Doi: dx.doi.org/10.5380/biofix.v4i2.65085 Acesso em: 15 mai. 2020.

SAVAREZ, T.; SILVA, L. O. G; SILVA, M. J.; SCALOPPI JR, E. J.; GONCALVES, P. S.; MARTINS, M. A. Monitoramento das propriedades tecnológicas da borracha natural dos clones de seringueira rrim 710, rrim 728, rrim 729, e rrim 806 de janeiro a junho de 2019. **Siagro**, p. 466- 470, 2019.

SENA, A. L. M.; SILVA NETO, A. J.; OLIVEIRA, G. M. V.; CALEGARIO, N. Modelos lineares e não lineares com uso de covariantes para relação hipsométrica de duas espécies de pinus tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 969-980, 2015.

SILVA, D. V. R.; SEBEM, E.; PEDRALI, L. D.; SANTOS, M. A. G. Variabilidade espacial de ndvi e evi no estágio vegetativo da soja. **Agropampa**, Campus Dom Pedrito/RS, v. 2, n. 2, p. 132 – 143, julho – dezembro / 2017. Disponível em:< [hp://200.132.146.161/index.php/agropampa/article/view/23133/0](http://200.132.146.161/index.php/agropampa/article/view/23133/0) > Acesso em: 20 mai. 2020.

SILVA, M. L. M.; BINOTI, D. H. B.; GLERIANI, J. M.; LEITE, H. G. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. *Revista Árvore*, v. 33, n. 6, p.1133-1139, 2009.

SILVA, G. F.; LEITE, V. R.; CURTO, R. A.; MORA, R.; MARTINS, L. T.; SANTOS, E. M.; SOARES, C. P. B. Cuidados com o uso do coeficiente de determinação na análise do ajuste de modelos volumétricos. In: Simpósio latino-americano sobre manejo florestal, 4, 2008, Santa Maria, RS, Anais. Santa Maria, UFSM, 2008, p.339-344.

SILVA, M. J; FIALHO, J. F; SAVAREZ, T; LIMA, W. A. A; MARTINS, M. A. Caracterização da borracha de genótipos do banco de germoplasma de seringueira da embrapa cerrados - origem Amazonas. VI Congresso Brasileiro de Heveicultura - Universidade Federal de São Carlos /Embrapa Instrumentação, Belo Horizonte /MG, 2019.

SILVA, R. C. F.; SOUSA, J. A. P.; AMORIM, A. T.; LOPES, E. R. N.; LOURENCO, R. W.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L. Análise comparativa de índices espectrais para a extração automática da lâmina d'água em imagem do satélite landsat 8/oli. XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 19, 2019. Disponível em:< [hps://proceedings.science/sbsr-2019/papers/analise-comparativa-de-indices-espectrais-para-a-extracao-automatica-da-lamina-d-agua-em-imagem-do-satelite-landsat-8oli?lang=en](https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/analise-comparativa-de-indices-espectrais-para-a-extracao-automatica-da-lamina-d-agua-em-imagem-do-satelite-landsat-8oli?lang=en)> Acesso em: 15 jun. 2020.

SILVEIRA, H. L. F.; VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. O. A.; avaliação multicriterial no mapeamento de risco de incêndios Florestais, em ambiente sig, na bacia do Rio Corumbataí, sp. Viçosa, *Árvore*, v. 32, n. 2, Mar./Apr.2008. Disponível em:< [hps://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010067622008000200009&lng=pt&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010067622008000200009&lng=pt&tlng=pt)> Doi: [hps://doi.org/10.1590/S0100-67622008000200009](https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000200009) Acesso em: 14 mai. 2020.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. ed. UFV, 2006.

SOUZA, E. C. **Manejo de Meloidogyne exigua em seringueira com produtos biológicos e químicos**. 2018. 38 f. Dissertação (mestrado, área de concentração em fitopatologia). Universidade Federal de Uberlândia, programa de pós-graduação em agronomia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <[hp://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21956/5/Manejo%20MeloidogyneExigua.pdf](http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21956/5/Manejo%20MeloidogyneExigua.pdf)> Acesso em: 20/07/2020.

STERLING, A; RODRIGUEZ, N; QUICENO, E; TRUJILLO, F; CLAVIJO, A; SUAREZ-SALAZAR, J. C. Dynamics of photosynthetic responses in 10 rubber tree (*Hevea brasiliensis*) clones in Colombian Amazon: Implications for breeding strategies. **Plos/one**, v. 14, n. 12, 2019.

TRAMONTINA, J.; KAFER, P. S.; BELLOLI, T. F.; FONTANA, D. C. Spectral reflectance of Ipê Amarelo leaves under different forms of storage and collection time. **Floresta**, Curitiba, v. 49, n. 2, p. 209-218, 2019. Disponível em: <[hps://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/56882](https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/56882)> Doi: [hps://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v49i2.56882](http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v49i2.56882) Acesso em: 15 abr. 2020.

VIÑA, A.; GITELSON, A. A. Sensitivity to foliar anthocyanin content of vegetation indices using green reflectance. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, vol. 8, n. 3, p. 464-468, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1109/LGRS.2010.2086430>

XUE, J.; SU, B. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. **Hindawi Journal of Sensors**, v. 11, n. 2, p. 17, 2017. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/js/2017/1353691/>> Doi: <https://doi.org/10.1155/2017/1353691> Acesso em: 18 Abr. 2020.

YANG, Z., WILLIS, P. & MUELLER, R. 2008. Impact of band-ratio enhanced AWIFS image to crop classification accuracy. **Pecora**, v. 17, p. 18–20. Disponível em: <<https://www.asprs.org/a/publications/proceedings/pecora17/0041.pdf>> Acesso em: 03/06/2020.