



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

JONAS ELIAS CASTRO DA ROCHA

ESTADO NUTRICIONAL E ADUBAÇÃO EM PLANTIOS DE *Eucalyptus brassiana*
S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden NA AMAZÔNIA ORIENTAL

BELÉM
2020

JONAS ELIAS CASTRO DA ROCHA

**ESTADO NUTRICIONAL E ADUBAÇÃO EM PLANTIOS DE *Eucalyptus brassiana*
S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

Linha de pesquisa: Manejo de Ecossistemas de Florestas Nativas e Plantadas

Orientador: Professor Francisco de Assis Oliveira

Coorientador: Professor Marcos André Piedade Gama

BELÉM

2020

Da Rocha, Jonas Elias Castro

Estado nutricional e adubação em plantios de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na Amazônia Oriental./ Jonas Elias Castro da Rocha. – 2020.
160 f. : il. color.

Tese (Doutorado) – - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Oliveira.

Co-Orientadores: Prof. Dr. Marcos André Piedade Gama.

1. Nutrição Florestal. 2. Silvicultura. 3. *Eucalyptus* spp.. 4. Redes Neurais Artificiais. 5. Máximo Potencial Produtivo. I. Oliveira, Francisco de Assis (*orient.*). II. Título.

CDD 634.95

JONAS ELIAS CASTRO DA ROCHA

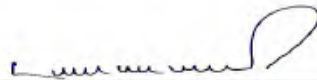
**ESTADO NUTRICIONAL E ADUBAÇÃO EM PLANTIOS DE *Eucalyptus brassiana*
S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Florestais para obtenção do título de Doutor.

03 de julho de 2020

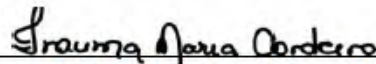
Data da Aprovação

BANCA EXAMINADORA



Orientador

Professor Francisco de Assis Oliveira
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)



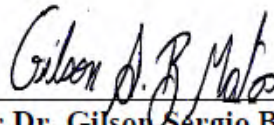
Examinador 1

Engenheira Florestal PhD. Iracema Maria Castro Coimbra Cordeiro
Fazenda Agroecológica São Roque (Membro Externo)



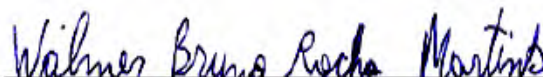
Examinador 2

Professor Dr. Luís de Souza Freitas
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)



Examinador 3

Professor Dr. Gilson Sérgio Bastos de Matos
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)



Examinador 4

Engenheiro Florestal Dr. Walmer Bruno Rocha Martins
Silva e Soluções Florestais (SSF)

DEDICATÓRIA

Dedico a minha filha, Marina Kameyama Castro, pois sua vida é o que dá sentido à minha luta.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter sido minha força e auxílio, socorro bem presente nos dias de angústia.

A minha família, pelo incentivo, por entender minhas ausências e pela paciência em meus dias difíceis. Em especial, aos meus pais, pois oferecer-lhes uma vida mais digna e orgulhá-los sempre foi minha motivação.

A minha esposa, companheira e amiga, Cristina Kameyama Castro, que divide comigo as várias formas de amar e que com sua dedicação e cuidado torna os meus dias mais leves. A Marina Kameyama Castro, que ainda não sabe a força que seu sorriso me traz. Minha filha, eu prometo que vou te cuidar para sempre, eu te amo infinito.

A Universidade Federal Rural da Amazônia pelo acolhimento acadêmico desde a graduação e hoje como ambiente de trabalho. Estendo também a Coordenação do PPGCF, nas pessoas da Professora Lina Bufalino e Andreza Pereira, por todo empenho e dedicação no sonho de construir uma formação cada vez melhor para nossos alunos.

Aos meus orientadores Francisco de Assis e Marcos André, pela experiência de tentar e exercitar a realização do método hipotético-dedutivo, como ferramenta de pesquisa científica.

As Empresas Concrem Wood e TFA, nas pessoas dos meus amigos Silvano D'Agnoluzzo, Ronélio Sufredine, Osana Nunes e Joilson Rosa, por todo apoio ao longo desses anos.

Aos amigos (as)/ irmãos (ãs): Altimá Alves, Ana Sardinha, Ângelo Ebling, Arthur Lisboa, Aurélio Mendes, Cândido Neto, Celso Silva, César Garbossa, Cícero Dolácio, Clauber Vasconcelos, Claudilene Alves, David Silva, Débora Gouvea, Denes Barros, Dennis Silva, Douglas Oliveira, Eloy Kameyama, Fabiana Kameyama, Fábio Batista, Fernando Lacerda, Gilson Matos, Gládis Jucoski, Graziela Oliveira, Gustavo Ruffeil, Helber Shibata, Helloyza Pompeu, Huan Borges, Iracema Cordeiro,IVALDO JR, Janae Gonçalves, João Pedro, Jean Souza, Jorge Silva, José Maria (seu Zé), José Marques Jr., José Rincon, José Viana, Kaliandra Alves, Letícia de Abreu, Lucas Miranda, Luciana Brabo, Manoel Brum, Marcel Botelho, Marcelo Robson, Marcos Samuel, Marcus Braga, Maria de Fátima, Maria das Graças, Milton Cordeiro, Natália Mafra (*in memoriam*), Osvaldo Cância, Possidônio Rodrigues, Ramon Kenedy, Ruth Falesi, Luis Rennam, Ronaldo Arruda, Saulo Wanzeler, Sebastião Rodrigo, Selma Ohashi (*in memoriam*), Silvana Rossy, Silvio Tadeu, Simonne Sampaio (*in memoriam*), Tâmara Thaiz, Vânia Neu e Wanderson Luis.

Chegar até aqui não foi um sonho que eu sonhei sozinho. E todos aqueles que lutaram comigo, recebam minha eterna gratidão.

EPÍGRAFE

*O correr da vida embrulha tudo. A vida é assim:
esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e
depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem.*

Guimarães Rosa

RESUMO

A nutrição mineral de plantas em níveis adequados é fundamental para manter um crescimento vigoroso além de elevadas produtividades. Nesse sentido, novos padrões de monitoramentos vêm sendo estabelecidos, como, por exemplo, a avaliação do estado nutricional através da diagnose foliar interpretadas pelos métodos de Kenworthy, DRIS e CND. Além disso, acredita-se que o emprego de tecnologias, como as que envolvem os aprendizados de máquinas, tais como as redes neurais artificiais (RNAs) que fornecem estimativas confiáveis capazes de auxiliar em tomadas de decisão quanto ao nível de adubação que proporcione sustentabilidade ao plantio manejado. Nesse contexto, a região amazônica, mais especificamente a mesorregião sudeste paraense, é considerada uma fronteira silvicultural e, por conseguinte, as pesquisas que norteiam o tema em comento são consideradas incipientes. Assim, o objetivo da pesquisa foi de avaliar o estado nutricional e níveis de adubação de um plantio clonal de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* na Amazônia Oriental. Para a análise do estado nutricional utilizou-se os métodos de Kenworthy, DRIS e CND. Para definição do máximo potencial produtivo, cubaram-se 9 árvores dividindo-as em 3 classes de circunferências medidas a 1,3 m do solo: de 17 a 28,5 cm (Classe I), de 28,6 a 40,2 cm (Classe II) e de 40,3 a 52 cm (Classe III). Na análise com redes neurais artificiais foram separados 60% do banco de dados para o treinamento e 40% para a validação. Nas quais se treinaram 20 redes com três configurações de RNA do tipo perceptron de múltiplas camadas. Para testar os níveis do máximo potencial produtivo em campo foram instaladas 6 parcelas de 125m² cada, distribuídas sistematicamente. Os tratamentos utilizados foram dispostos através do delineamento em blocos ao acaso, consistindo de seis tratamentos e quatro repetições: T1 - 0%, T2 - 50%, T3 - 75%, T4 - 100%, T5 - 125% e T6 - 150% de adubação respectivamente. Os fertilizantes foram aplicados em duas etapas, uma aos 10 e outra aos 90 dias após o plantio das mudas, nas quais se mediram as variáveis de sobrevivência, crescimento do diâmetro do coleto, diâmetro de copa e altura total. Verificou-se que as técnicas utilizadas para avaliação do estado nutricional foram similares. Na compartimentação de nutrientes observou-se que apenas os teores foliares não são suficientes para proporcionarem diferenças na produção de biomassa do Incremento Médio Anual em Volume - IMA_{vol}. Desta maneira, esses teores não servem para serem utilizados como padrões nutricionais do híbrido estudado. Entretanto, pela análise do estado nutricional com RNAs, pode-se estimar com confiabilidade o volume das árvores pelos conteúdos de nutrientes alocados nos compartimentos das árvores e pelos teores foliares. As metodologias para a avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus* sp. forneceram resultados concordantes e podem ser utilizadas com confiabilidade nas condições do estudo. O nível de adubação que utilizou o máximo potencial produtivo foi o que gerou a maior produtividade no ensaio de campo, podendo assim ser tomado com norteador de programas de adubação na Amazônia Oriental.

Palavras-chave: Máximo potencial produtivo, compartimentação de nutrientes, reflorestamento, redes neurais artificiais, fertilização mineral.

ABSTRACT

The mineral nutrition of plants at adequate levels is essential to maintain vigorous growth in addition to high productivity. In this sense, new monitoring standards have been established, such as, for example, the assessment of nutritional status through leaf diagnosis interpreted by the methods of Kenworthy, DRIS and CND. In addition, it is believed that the use of technologies, such as those involving machine learning, such as artificial neural networks (ANNs) that provide reliable estimates capable of assisting in decision making regarding the level of fertilization that provides sustainability to the managed planting. In this context, the Amazon region, more specifically the southeastern region of Pará, is considered a silvicultural frontier and, consequently, the researches that guide the subject in question are considered incipient. Thus, the objective of the research was to evaluate the nutritional status and fertilization levels of a clonal plantation of *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* in the Eastern Amazon. For the analysis of the nutritional status, the Kenworthy, DRIS and CND methods were used. To define the maximum productive potential, 9 trees were cubed, dividing them into 3 classes of circumferences measured at 1.3 m from the ground: from 17 to 28.5 cm (Class I), from 28.6 to 40.2 cm (Class II) and 40.3 to 52 cm (Class III). In the analysis with artificial neural networks, 60% of the database were separated for training and 40% for validation. In which 20 networks were trained with three multilayer perceptron RNA configurations. To test the levels of maximum productive potential in the field, 6 plots of 125m² each were installed, systematically distributed. The treatments used were arranged through a randomized block design, consisting of six treatments and four repetitions: T1 - 0%, T2 - 50%, T3 - 75%, T4 - 100%, T5 - 125% and T6 - 150% fertilization respectively. Fertilizers were applied in two stages, one at 10 and the other at 90 days after planting the seedlings, in which the survival variables, growth of the stem diameter, crown diameter and total height were measured. It was found that the techniques used to assess nutritional status were similar. In the compartmentalization of nutrients, it was observed that only the leaf contents are not sufficient to provide differences in the biomass production of the Annual Average Increment in Volume - IMAvol. Thus, these levels are not intended to be used as nutritional standards of the studied hybrid. However, by analyzing the nutritional status with RNAs, it is possible to reliably estimate the volume of the trees by the content of nutrients allocated in the compartments of the trees and by the leaf contents. The methodologies for assessing the nutritional status of *Eucalyptus sp.* provided concordant results and can be used reliably under the conditions of the study. The level of fertilization that used the maximum productive potential was the one that generated the highest productivity in the field trial, thus being able to be taken as a guide for fertilization programs in the Eastern Amazon.

Keywords: Maximum productive potential, nutrient compartmentation, reforestation, artificial neural networks, mineral fertilization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de um neurônio biológico.....	34
Figura 2 - Exemplo de um neurônio dentro de uma rede neural artificial MLP	35
Figura 3 - Mapa de localização das áreas experimentais situadas nos municípios de Dom Eliseu, Paragominas e Ulianópolis, Amazônia Oriental.....	50
Figura 4 - Mapa de localização da unidade experimental, Fazenda Piquiá, Município de Paragominas, PA, Amazônia Oriental.	81
Figura 5 - Colheita (A), cubagem (B) e seccionamento das árvores (C) realizados na área de estudo, Amazônia Oriental.	82
Figura 6 - Coleta de amostras dos compartimentos acima do solo de árvores de <i>Eucalyptus</i> sp., Amazônia Oriental.	84
Figura 7 - Procedimento de coleta das amostras do solo, Fazenda Piquiá, Paragominas-PA, Amazônia Oriental.....	84
Figura 8 - Concentração de nutrientes acumulados na casca, folhas, galhos verdes, galhos secos e no tronco, na Classe I.	91
Figura 9 - Concentração de nutrientes acumulados na casca, folhas, galhos verdes, galhos secos e no tronco, determinados para a Classe II.	92
Figura 10 - Concentração de nutrientes acumulados na casca, folhas, galhos verdes, galhos secos e no tronco, determinados para a Classe III.	93
Figura 11 - Relação dos níveis de macronutrientes nos compartimentos acima do solo com o incremento médio anual da biomassa de híbridos de <i>Eucalyptus brassiana</i> S.T. Blake X <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental.....	97
Figura 12 - Relação dos níveis de micronutrientes, exceto boro, nos compartimentos acima do solo com o incremento médio anual da biomassa de híbridos de <i>Eucalyptus brassiana</i> S.T. Blake X <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental.	98
Figura 13 - Relação dos níveis de Boro nos compartimentos acima do solo com o incremento médio anual da biomassa de híbridos de <i>Eucalyptus brassiana</i> S.T. Blake X <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden. Blake, na Amazônia Oriental.....	99
Figura 14 - Localização da fazenda Piquiá pertencente ao grupo Transporte Florestal Araguaia no município de Paragominas-PA, Amazônia Oriental.	109
Figura 15 - Colheita (A), cubagem (B) e seccionamento das árvores (C) realizadas na área de estudo.....	110
Figura 16 - Coleta de amostras dos compartimentos acima do solo de árvores de <i>Eucalyptus</i> sp.....	112

Figura 17 - Pesos sinápticos da RNA 3 (MLP 17-7-1) dados pela relação entre o volume total da árvore e os nutrientes totais dos compartimentos ($\text{Vol} \times \text{NT}$), na Amazônia Oriental.	119
Figura 18 - Pesos sinápticos da RNA 3 (MLP 11-3-11) dados pela relação entre os teores foliares x nutrientes totais dos compartimentos ($\text{NF} \times \text{NT}$), na Amazônia Oriental.	122
Figura 19 - Pesos sinápticos da RNA 4 (MLP 11-5-11) dados pela relação entre os teores foliares e os nutrientes totais dos compartimentos ($\text{NF} \times \text{NT}$), na Amazônia Oriental.	123
Figura 20 - Pesos sinápticos da rede neural artificial 5 MLP 11-4-11 dados pela relação entre os teores foliares e os nutrientes totais dos compartimentos ($\text{NF} \times \text{NT}$), na Amazônia Oriental.	123
Figura 21 - Pesos sinápticos da rede neural artificial 2 MLP 11-3-11, entre os teores foliares e os nutrientes totais dos compartimentos ($\text{NF} \times \text{NT}$), na Amazônia Oriental.	124
Figura 22 - Pesos sinápticos da RNA 2 (MLP 12-1-1) dados pela relação entre os teores foliares e o volume da árvore ($\text{NF} \times \text{Vol}$), Amazônia Oriental.	125
Figura 23 - Mapa de localização da área experimental na Fazenda São Pedro, no município de Nova Esperança do Piriá-PA, na Amazônia Oriental.	135
Figura 24 - Amostragem do solo (A) para análise química (B).	136
Figura 25 - Coveamento para o plantio das mudas (A); Plantio das mudas (B), realizadas na fazenda São Pedro, no município de Nova Esperança do Piriá –PA, Amazônia Oriental.	137
Figura 26 - Irrigação das mudas (A e B), na fazenda São Pedro no município de Nova Esperança do Piriá –PA, Amazônia Oriental.	137
Figura 27 - Pesagem (A) e separação dos fertilizantes (B) no laboratório da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), no Campus de Paragominas-PA, Amazônia Oriental.	138
Figura 28 - Aberturas das covetas (A) e aplicação dos fertilizantes (B) na Fazenda São Pedro no município de Nova Esperança do Piriá –PA, Amazônia Oriental.	139
Figura 29 - Altura total (A); Diâmetro de copa (B); Paquímetro digital (C); Diâmetro do Coleto (D) dos indivíduos analisados na Fazenda São Pedro, no município de Nova Esperança do Piriá –PA, Amazônia Oriental.	140
Figura 30 - Taxa de crescimento em altura, diâmetro do coleto e diâmetro de copa para os seis tratamentos testados, na Amazônia Oriental.	148

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Critério para interpretação do potencial de resposta à adubação de acordo com índice DRIS. 56
- Tabela 2** - Valores de referência do método IBK para plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental, aos 24 meses de idade..... 58
- Tabela 3** - Produtividade (DAP ha⁻¹ ano⁻¹) - incremento médio anual do diâmetro a altura do peito por hectare), e Índices IBK dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental, aos 24 meses de idade. 59
- Tabela 4** - Estado nutricional dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, avaliado pelo método IBK, na Amazônia Oriental, aos 24 meses de idade..... 60
- Tabela 5** - Relações bivariadas dos nutrientes foliares dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, na Amazônia oriental, aos 24 meses de idade..... 61
- Tabela 6** - Produtividade em incremento médio anual do diâmetro a altura do peito (IMADap) pelos índices DRIS e IBK para plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental, aos 24 meses de idade..... 61
- Tabela 7** - Valores médios ± Desvio padrão das variáveis multinutrientes pelo método CND, na subpopulação de alta produtividade dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*, na Amazônia Oriental, aos 24 meses de idade.. 62
- Tabela 8** – Produtividade, índice CND e índice de balanço nutricional por talhão de acordo com padrão de referência, aos 24 meses de idade. 63
- Tabela 9** - Frequência do potencial de resposta à adubação (PRA%) de N, P, K, Ca e Mg determinada pelos métodos IBK, DRIS e CND, em amostras de folhas dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, coletadas na Amazônia Oriental, na subpopulação de baixa produtividade , aos 24 meses de idade..... 66
- Tabela 10** - Frequência de talhões com diagnoses concordantes do potencial de resposta à adubação (PRA), determinada pelos métodos IBK, DRIS e CND, em amostras de folhas dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*, coletadas na Amazônia Oriental, na subpopulação de baixa produtividade, aos 24 meses de idade. 68
- Tabela 11** - Frequência de diagnose do estado nutricional de N, P, K, Ca e Mg determinadas pelos métodos IBK, DRIS e CND, em amostras de folhas dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, coletadas na Amazônia Oriental, na subpopulação de baixa produtividade , aos 24 meses de idade. 69

Tabela 12- Frequência de talhões com diagnoses concordantes do estado nutricional (EN), determinadas pelos métodos IBK, DRIS e CND, em amostras de folhas dos plantios clonais de <i>Eucalyptus brassiana</i> S.T. Blake x <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden coletadas na Amazônia Oriental, na subpopulação de baixa produtividade, aos 24 meses de idade.....	70
Tabela 13 - Classificação dos parâmetros químicos do solo em níveis baixos, médios e altos.	85
Tabela 14- Produtividade e produção de biomassa da parte aérea de híbridos <i>Eucalyptus brassiana</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> , em cultivo comercial na Amazônia Oriental. ...	87
Tabela 15 - Atributos químicos do solo da área experimental, Fazenda Piquiá, município de Paragominas-PA, Amazônia Oriental.....	88
Tabela 16 - Teste de comparação múltipla de médias pelo teste SNK da nutrição e classificação de nutrientes na parte aérea de híbridos de <i>Eucalyptus brassiana</i> S.T. Blake X <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden aos 2,5 de idade, na Amazônia Oriental.	89
Tabela 17 - Teores foliares de nutrientes em plantios de híbridos de <i>Eucalyptus brassiana</i> S.T. Blake X <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden aos 2,5 anos de idade, na Amazônia Oriental.....	94
Tabela 18 - Eficiência de utilização de nutrientes (kg de nutriente e Mg de Biomassa) de híbridos de <i>Eucalyptus brassiana</i> S.T. Blake X <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental.....	95
Tabela 19 - Quantidade de nutrientes em compartimentos acima do solo de híbridos de <i>Eucalyptus brassiana</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> em kg necessária para o máximo potencial produtivo aos 2,5 anos de idade, na Amazônia Oriental.....	96
Tabela 20 - Componentes da RNA para a interação entre conteúdo nutricional dos compartimentos e o volume das árvores de <i>Eucalyptus</i> sp.....	113
Tabela 21 - Componentes da RNA para a interação entre os teores foliares de nutrientes e o conteúdo nutricional dos compartimentos das árvores de <i>Eucalyptus</i> sp.....	113
Tabela 22 - Componentes da RNA para a interação entre os teores foliares e o volume das árvores de <i>Eucalyptus</i> sp.	114
Tabela 23 - Teste de comparação múltipla de médias pelo teste SNK da nutrição e classificação de nutrientes na parte aérea de híbridos de <i>Eucalyptus brassiana</i> S.T. Blake X <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden aos 2,5 anos de idade, na Amazônia Oriental.....	117
Tabela 24 - Configurações das redes e coeficientes de correlação ($r_{v\hat{v}}$) entre os valores reais e estimados do volume total das árvores pelo conteúdo dos nutrientes nos compartimentos, na Amazônia Oriental.	119

Tabela 25 - Configurações das redes e coeficientes de correlação ($r_{v\hat{v}}$) entre os valores reais e estimados do volume total das árvores pelo conteúdo dos nutrientes nos compartimentos.....	120
Tabela 26 - Configurações e coeficientes de correlação ($r_{v\hat{v}}$) entre os valores reais e estimados das cinco melhores redes retidas na relação entre teores foliares e nutrientes totais dos compartimentos, na Amazônia Oriental.	124
Tabela 27 - Máximo potencial produtivo para o híbrido de <i>Eucalyptus brassiana</i> S.T. Blake X <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental.	138
Tabela 28 - Atributos químicos do solo da área experimental, na Fazenda São Pedro em Nova Esperança do Piriá, PA.	142
Tabela 29 - Tabela de classificação das concentrações dos atributos químicos no solo.	142
Tabela 30 - Comparação múltipla das médias pelo teste SNK, para os tratamentos experimentais, Amazônia Oriental.	145
Tabela 31 - Ganhos em porcentagem de cada tratamento sob diferentes níveis de adubação, na Amazônia Oriental.	150
Tabela 32 - Doses máximas recalculadas para os macros e micronutrientes para o híbrido <i>Eucalyptus brassiana</i> S.T. Blake X <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden, em Kg ha ⁻¹ , na Amazônia Oriental.	151
Tabela 33 - Modelos quadráticos de equação de regressão ajustados para os macros e micronutrientes para o híbrido <i>Eucalyptus brassiana</i> S.T. Blake X <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental.	152

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAF - Anuário Brasileiro de Silvicultura

ABRAF - Associação Brasileira dos Produtores de Florestas Plantadas

AIA - Ácido Indol Acético

ANAVA - Análise de Variância

ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos

ATP - Adenosina Trifosfato

Ca - Cálcio

CIB - Conselhos de Informações sobre Biotecnologia

CIFLORESTAS - Centro de Inteligência em Florestas

CND - Diagnose da Composição Nutricional

CNI - Confederação Nacional da Indústria

CUB - Coeficiente de Uso Biológico de Nutriente

DRIS - Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUN - Eficiência de Utilização dos Nutrientes

FNR - Fosfato Natural Reativo

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBK - Índices Balanceados de Kenworthy

IBN - Índice de Balanço Nutricional

IBNm - Índice de Balanço Nutricional Médio

IFP - Instituto de Florestas do Paraná

IMA_{vol} - Incremento Médio Anual em Volume

IMAZON - Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia

K - Potássio

LE - Limitante por Excesso

LF - Limitante por Falta

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

MDF - Placa de Fibra de Média Densidade

Mg - Magnésio

MIFS - Manual Internacional de Fertilidade do Solo

N - Nitrogênio

NL - Não limitante

P - Fósforo

PA - Pará

PDSA - Plano de Desenvolvimento Sustentável da Amazônia Legal

PEVS - Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura

pH – Potencial Hidrogeniônico

PIB - Produto Interno Bruto

PRA - Potencial de Resposta à Adubação

SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura

SEMAS - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade

SFB - Serviço Florestal Brasileiro

SNK - Student Newman Keuls

TFA - Transportadora Floresta do Araguaia

UFRA - Universidade Federal Rural da Amazônia

SUMÁRIO

1	CONTEXTUALIZAÇÃO	19
1.1	A silvicultura no Brasil.....	19
1.2	A silvicultura na Amazônia.....	20
1.3	O gênero <i>Eucalyptus</i>	21
1.3.1	<i>Eucalyptus brassiana</i> S. T. Blake.....	22
1.3.2	<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden	22
1.3.3	O híbrido <i>Eucalyptus brassiana</i> S.T. Blake x <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden	23
1.3.4	Adubação em <i>Eucalyptus</i> spp.	24
1.3.5	Produtividade de plantios de <i>Eucalyptus</i> spp.	26
1.4	Avaliação do estado nutricional.....	27
1.4.1	Métodos de avaliação do estado nutricional	27
1.4.1.1	Diagnose foliar.....	27
1.4.1.2	Índices Balanceados de Kenworthy – IBK.....	28
1.4.1.3	Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação – DRIS	29
1.4.1.4	Diagnose da Composição Nutricional – CND.....	30
1.4.2	Potencial de Resposta à Adubação – PRA.....	31
1.4.3	Eficiência de utilização de nutrientes	32
1.5	A utilização de Redes Neurais Artificiais - RNA.....	33
1.6	Questões científicas, hipóteses e objetivos da pesquisa	36
1.6.1	Questões científicas	36
1.6.2	Hipóteses.....	36
1.6.3	Objetivos.....	36
	REFERÊNCIAS.....	38
2	ESTADO NUTRICIONAL E POTENCIAL DE RESPOSTA À ADUBAÇÃO DE PLANTIOS CLONAIIS DE <i>Eucalyptus brassiana</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>, UTILIZANDO OS MÉTODOS DE KENWORTHY, DRIS E CND NA AMAZÔNIA ORIENTAL	46
2.1	Introdução	48
2.2	Material e métodos.....	50
2.2.1	Caracterização da área de estudo	50
2.2.2	Coleta dos dados	51
2.2.3	Procedimento estatístico e planejamento da amostragem.....	52
2.2.4	Índices Balanceados de Kenworthy - IBK.....	53
2.2.5	Obtenção dos índices diagnósticos foliares pelo método DRIS	54

2.2.6	Obtenção dos índices diagnósticos foliares pelo método CND.....	55
2.2.7	Potencial de resposta à adubação - PRA.....	56
2.2.8	Concordância dos diagnósticos IBK, DRIS e CND	57
2.3	Resultados e discussão	58
2.3.1	Índices balanceados de Kenworthy – IBK.....	58
2.3.2	Normas DRIS e CND	60
2.3.3	Potencial de Resposta à adubação para os índices IBK, DRIS e CND	66
2.4	Conclusão.....	72
	REFERÊNCIAS.....	73
3	MÁXIMO POTENCIAL PRODUTIVO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE	
	<i>Eucalyptus brassiana</i> S.T. Blake X <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden NA	
	AMAZÔNIA ORIENTAL	77
3.4	Introdução	79
3.5	Material e métodos.....	81
3.5.1	Caracterização da área de estudo	81
3.5.2	Coleta de dados dendrométricos	82
3.5.3	Coleta de dados dos compartimentos acima do solo	83
3.5.4	Amostragem e fertilidade do solo	84
3.5.5	Eficiência de utilização de nutrientes	85
3.5.6	Análise estatística	86
3.6	Resultados e discussão	87
3.6.1	Biomassa e produtividade.....	87
3.6.2	Teor e conteúdo de nutrientes.....	87
3.6.3	Eficiência de utilização de nutriente – EUN.....	94
3.6.4	Máximo potencial produtivo.....	95
3.7	Conclusão.....	100
	REFERÊNCIAS.....	101
4	REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA NUTRIÇÃO E VOLUMETRIA DE	
	ÁRVORES DE <i>Eucalyptus brassiana</i> S.T. Blake X <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex	
	Maiden, NA AMAZÔNIA ORIENTAL	105
4.4	Introdução	107
4.5	Material e métodos.....	109
4.5.1	Caracterização da área de estudo	109
4.5.2	Coleta de dados dendrométricos	110

4.5.3	Coleta de dados dos compartimentos acima do solo	111
4.5.4	Análise estatística das amostras dos tecidos vegetais	112
4.5.5	Treinamento e validação das redes neurais artificiais - RNA.....	112
4.5.6	Seleção das redes neurais artificiais - RNA.....	114
4.5.7	Análise dos Pesos Sinápticos	115
4.6	Resultados e discussão	116
4.7	Conclusão.....	127
	REFERÊNCIAS.....	128
5	ADUBAÇÃO DE PRECISÃO EM PLANTIO CLONAL DO HÍBRIDO DE <i>Eucalyptus brassiana</i> S.T. Blake X <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden NA AMAZÔNIA ORIENTAL	131
5.4	Introdução	133
5.5	Material e métodos.....	135
5.5.1	Caracterização da área de estudo	135
5.5.2	Amostragem do solo	136
5.5.3	Preparo da área.....	136
5.5.4	Tratamentos experimentais	137
5.5.5	Variáveis analisadas e coleta de dados	139
5.5.6	Delineamento experimental e processamento dos dados.....	140
5.6	Resultados e discussão	142
5.6.1	Avaliação da fertilidade do solo	142
5.6.2	Análise dos dados	145
5.6.3	Taxa de crescimento	147
5.6.4	Ganho em produtividade.....	150
5.6.5	Doses máximas recalculadas	150
5.7	Conclusão.....	155
	REFERÊNCIAS.....	156

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.4 A silvicultura no Brasil

A história do setor de florestas plantadas no Brasil possui estreita relação com o desenvolvimento da indústria nacional. A silvicultura nacional surgiu e teve seu fortalecimento ao final da década de 1950, muito pelo esforço do Estado brasileiro em promover o desenvolvimento econômico, que se materializou no Plano de Metas, o qual tinha por objetivo priorizar cinco setores que receberiam investimentos e fixava objetivos a serem atingidos em cinco anos (EMBRAPA, 2014).

O setor florestal foi contemplado através da intensa atividade da indústria de celulose e papel, além de setores responsáveis pela produção energética (SILVEIRA *et al.*, 2005; CIB, 2008). Devido ao avanço obtido e outras perspectivas, causadas pelo empreendimento, o ramo florestal atraiu investidores de vários lugares do mundo, com foco tanto nas indústrias responsáveis pelos bens manufaturados (celulose e painéis reconstituídos) quanto pela produção da matéria prima (silvicultura) (FARINHA *et al.*, 2015).

No ano de 2018, o Brasil liderou o ranking global de produtividade florestal, com uma média de $36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para os plantios de *Eucalyptus* spp., e o consumo brasileiro de madeira proveniente de árvores plantadas para uso industrial foi de 206 milhões de m^3 , representando um aumento de 6,1% em relação ao consumo do ano anterior (IBÁ, 2019).

O desenvolvimento e a organização do setor de base florestal do Brasil competem com os melhores do mundo. No ano de 2018, a área de florestas plantadas totalizou 7,83 milhões de hectares, permanecendo praticamente estável quando comparado ao ano de 2017. Desse total, o *Eucalyptus* spp., ocupa a maior parte da produção com 5,7 milhões de hectares plantados, seguido pelo cultivo de *Pinus* sp., com 1,6 milhões de hectares plantados, sendo o restante ocupado por espécies como *Hevea brasiliensis* var. *h* (seringueira), *Acacia mangium* Willd., (acácia), *Tectona grandis* L. f (teca) e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (paricá) (IBÁ, 2019).

Os Estados de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul são as regiões com expressiva produção de florestas plantadas com espécies exóticas. As condições climáticas favoráveis nessas regiões os avanços nas pesquisas, além de incentivos. políticos incentivaram o cultivo de espécies com ciclos de crescimento rápido madeira de alta qualidade com baixo custo de produção, colocando à atividade florestal no país bem superior em relação aos outros países (IBÁ, 2019).

Esse crescente desenvolvimento proporcionado pelo setor de florestas plantadas permite também que o país conquiste novos mercados e, com isso, contribua diretamente na geração de emprego e renda, favorecendo o desenvolvimento socioeconômico (NOCE *et al.*, 2008; SOARES, 2010).

1.5 A silvicultura na Amazônia

Há Décadas, o setor florestal na Amazônia brasileira passou por um processo de mudanças significativas, permutando produtos oriundos de florestas nativas por aqueles advindo das florestas plantadas. Essa mudança começou a ocorrer a partir da década de 70, quando surgiram os primeiros plantios isolados, principalmente nos estados do Pará e em Rondônia com espécies madeireiras nobres como *Swietenia macrophylla* (mogno) (HUBER; COY, 2017)

A perspectiva pelo crescimento da floresta plantada se intensificou a partir da década de 80, sobretudo com o Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*), pois s Plantios com essa espécie nativa foi impulsionado em razão do seu rápido crescimento e elevada qualidade na produção de chapas de compensados, principalmente na década de 90 quando chegaram grandes projetos para a Amazônia, dentre eles o projeto Jari, caracterizado pelo pioneirismo que visava o cultivo de espécies de rápido crescimento para a produção de celulose, iniciando com plantios de *Gmelina* sp., *Pinus* sp., e mais recentemente com *Eucalyptus* spp. (PDSA, 2006).

No ano de 2005 foi criado o projeto Vale Florestar da empresa Vale S. A., com intuito de reflorestar com *Eucalyptus* spp. áreas degradadas no chamado, “arco do desflorestamento” (IMAZON, 2010). Mais tarde, no ano de 2014, a empresa Suzano Papel e Celulose comprou o ativo florestal da então Vale Florestar S.A., tornando-se assim a maior detentora de floresta plantada do Estado (PAINEL FLORESTAL, 2014).

Em 2009 o reflorestamento na Amazônia atingiu uma área de aproximadamente 623 mil hectares, dos quais 308 mil hectares correspondentes a *Eucalyptus* spp., seguida pela espécie nativa seringueira (*Hevea brasiliensis*), com quase 130 mil hectares e Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) com 118 mil hectares (IMAZON, 2010).

A produção extrativa vegetal de madeira da Amazônia teve uma queda expressiva: caiu pela metade entre os anos de 1998 e 2009 e nesse mesmo período, a silvicultura que tinha participação ínfima na Amazônia, passou a ter destaque especialmente com plantios de Paricá e *Eucalyptus* sp. para produção de chapas de madeira de média densidade (MDF).

Em 2014 o Pará detinha 125 mil hectares e o Amapá 60 mil, representando 3,1% do total nacional de florestas plantadas. Em 2015, houve um crescimento no setor florestal ocupando uma área de 130,431 mil hectares. Além de papel, celulose e MDF, parte da produção dessas florestas têm sido destinada a produção de carvão vegetal, usado principalmente na indústria de ferro-gusa (IBÁ, 2017).

O reflorestamento na Amazônia tem a cada ano um crescimento expressivo, principalmente pela sua importância econômica, um exemplo disso é uma fábrica de MDF situada no município de Paragominas-Pa, que tem servido na última década como referência das mudanças ocorridas no setor florestal da Amazônia. O MDF produzido a partir de um mix de fibras de *Eucalyptus* spp., e Paricá plantados em Paragominas, gerou uma produção de mais de 400 mil metros de chapas em 2012 (VERÍSSIMO; PEREIRA, 2014).

1.6 O gênero *Eucalyptus*

O *Eucalyptus* sp. pertence à família das Myrtaceae, é uma espécie nativa da Oceania com ocorrência principalmente na Austrália, cobrindo aproximadamente 90% da área do país, formando densos maciços florestais nativos. O Serviço Florestal da Austrália identificou mais de 700 espécies e apenas duas delas, *Eucalyptus urophylla* e *E. deglupta*, têm ocorrência natural fora do território australiano (BERTOLA, 2000; EMBRAPA, 2014; FLORES *et al.*, 2016).

A espécie chegaram ao Brasil no início do século XX através da iniciativa do pioneiro Edmundo Navarro de Andrade, que tinha como objetivo plantar *Eucalyptus* sp., para obtenção de madeira que seriam destinadas à confecção de dormentes, além do que o engenheiro agrônomo pensou em plantios para produção em escala comercial (SNIF, 2018).

Com o passar dos anos e conforme o pensamento de Navarro, houve a necessidade da substituição de produtos oriundos de florestas nativas por espécies cultivadas em reflorestamento, visando reduzir a pressão sobre as florestas nativas. Com isso, a silvicultura de *Eucalyptus* sp. cresceu nos últimos anos no Brasil, sendo uma importante alternativa, principalmente na recuperação de áreas degradadas ou alteradas (ARAÚJO, 2011; GALINARI; SANTOS, 2014).

As espécies do gênero *Eucalyptus* atualmente ocupam as maiores áreas plantadas no Brasil, com mais de 5,7 milhões de hectares em 2018 (IBÁ, 2019). Ao lado de outras espécies florestais comerciais como pinus, seringueira, acácia, paricá e teca, o setor mantém expressiva atuação na balança comercial do país, movimentado principalmente pelas demandas de papel e celulose, madeira e geração de energia (GALINARI; SANTOS, 2014; IBÁ, 2019).

1.6.1 *Eucalyptus brassiana* S. T. Blake

O *Eucalyptus brassiana* S. T. Blake ocorre naturalmente em formações florestais fechadas ou abertas, desde o sudeste de Papua-Nova Guiné até a região do Cabo York no nordeste do Estado de Queensland, Austrália (MOURA, 2003).

O clima do habitat desta espécie é quente e úmido ao norte e, quente e subúmido ao sul. Apresenta temperaturas médias anuais em torno de 32 °C, no mês mais quente, e a média mínima do mês mais frio varia de 16 °C a 21 °C. A precipitação média anual varia de 1000 a 2500 mm anuais, com estações secas e úmidas bem distintas (MOURA; OLIVEIRA; VIEIRA, 1995).

Geralmente, essa espécie cresce em encostas de estrutura rochosa, com solos pobres e bem drenados, e em regiões com topografia levemente ondulada; ou ainda, pode ser encontrada em várzeas inundáveis e em depressões, como em Papua-Nova Guiné, o gênero cresce em solos mal drenados, às margens de pântanos, ambientes esses, com condições edafoclimáticas extremas, que podem denotar plasticidade fenotípica a espécie (QUIQUI; MARTINS; SHIMIZU, 2001).

Moura (1988) pesquisando *E. brassiana*, constatou um incremento na faixa de 12 a 20 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ na região do cerrado. Na condição de local da pesquisa a espécie foi considerada como a quarta melhor espécie entre todas as estudadas, tendo apresentado sobrevivência em torno de 90% aos 6,5 anos, enquanto espécies tradicionais como *E. grandis* e *E. saligna* apresentaram sobrevivência abaixo de 70%, nesta mesma idade. Já Moura, Oliveira e Vieira (1995), ao estudarem o comportamento de quatro procedências de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake em Planaltina, DF, concluíram que no cerrado a espécie não apresenta crescimento e forma compatíveis a de outras espécies utilizadas em reflorestamento, tendo, por fim, mais potencialidade de plantio em condições semi-áridas.

1.6.2 *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

O *Eucalyptus grandis* ocorre naturalmente na costa leste australiana, zona de clima úmido subtropical, condições essas que levaram as espécies a se adaptarem muito bem às condições geológicas do Brasil (FREITAS JUNIOR, 2014). Existem relatos também de ocorrência espontânea nas regiões de Newcastle e Coffs Harbour em New South Wales, ao leste de Gympie, no Sudeste de Queensland, até regiões mais ao nordeste do país no planalto de Eungella a oeste de Mackey, próximo a Inghan e no planalto de Atherton. Geralmente, tais ocorrências são em altitudes próximas a 600 metros na região de New South Wales e sul de

Queensland e de 400 a 1250 metros de altitude no Norte de Queensland (CALSAVARA, 2016).

A espécie é encontrada facilmente em regiões onde ocorre precipitação média anual de 1.000 até 3.730 mm e com temperatura média anual de 12 a 25 °C, sendo a temperatura média máxima no mês mais quente de 22 a 34 °C e temperatura média mínima no mês mais frio de 0 a 16 °C (CALSAVARA, 2016)

O uso da madeira é bem amplo, sendo destinado em sua maioria para a produção de celulose, papel, painéis de fibra e aglomerado, biomassa, além de amplo uso em marcenarias (SOARES; CARVALHO; VALE, 2003).

Miranda (2012) ressalta que o *E. grandis* é uma das espécies do gênero mais cultivada no Brasil, devido aos seus inúmeros usos e por outros fatores como o rápido crescimento, pelas características silviculturais conhecidas, pela plasticidade das propriedades da madeira, por sua importância econômica e também a grande variabilidade genética desta espécie.

1.6.3 O híbrido *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

O cruzamento genético de espécies diferentes, porém do mesmo gênero, gera um híbrido. O aumento significativo na produtividade dos plantios florestais e na qualidade da madeira de *Eucalyptus* levou a utilização de diferentes híbridos em plantios experimentais e comerciais, em diversos estados do Brasil. Dentre eles estão o *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, este é um híbrido resultante do cruzamento das espécies *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake e *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden., que tem por objetivo obter plantas com resistência ao estresse hídrico, característica observada na primeira espécie, e que, ao mesmo tempo, apresentasse bom crescimento volumétrico, qualidades fisiológicas (crescimento, resistência a doenças e pragas e qualidade da madeira) apresentada pela segunda espécie (MOURA, 1988).

Devido ao ganho genético oriundo do cruzamento de duas espécies, o híbrido apresenta um ótimo potencial de adaptação a diferentes localidades, onde associado a uma adubação adequada propicia uma boa produção de madeira. Para Silva (2006), outra característica que favorece o híbrido a obter uma elevada adaptação aos diferentes ecossistemas é o fato de o mesmo apresentar uma eficiência alta de utilização dos nutrientes presentes no solo, em consonância com seu ambiente de seleção

1.6.4 Adubação em *Eucalyptus* spp.

A necessidade de adubação decorre do fato de que nem sempre o solo é capaz de fornecer todos os nutrientes que as plantas precisam para um adequado crescimento. As características e quantidade de adubos a aplicar dependerão das necessidades nutricionais dos clones utilizados de *Eucalyptus* spp., da fertilidade do solo, da forma de reação dos adubos com o solo e da eficiência dos adubos (GONÇALVES, 1995).

As recomendações de adubação devem ser definidas a nível regional para as espécies e tipos de solo mais representativos, envolvendo experimentação de campo, que devem ter por objetivo estabelecer classes de fertilidade do solo e de resposta às adubações (GONÇALVES, 1995). Dessa forma a correção de solos e a adição de fertilizantes é uma prática essencial para garantir a produtividade. Assim é de interesse do setor florestal a identificação de genótipos com alta capacidade de utilização de nutrientes (TOMAZ; AMARAL, 2008).

O *Eucalyptus* spp. é muito propenso à fertilização nitrogenada e fosfatada, onde a presença do nitrogênio (N) ocasiona um aumento da área foliar e, conseqüentemente, o aumento de volume de tronco. Já o fósforo (P) é o elemento que mais limita o crescimento dos vegetais na maioria dos solos (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

Os primeiros trabalhos voltados para a adubação e nutrição do *Eucalyptus* spp. datam da década de 70 e 80, com relevância as pesquisas de Bellote (1979); Valeri *et al.* (1983), entre outros. No entanto, para os plantios comerciais outras variáveis, como espécie e/ou clones, tipo de solo e época de plantio, também devem ser levados em consideração, para uma adubação mais eficiente (WILCKEN *et al.*, 2008).

Barros & Novais (1990) e Novais *et al.* (1990), recomendam os níveis de adubação que variam entre 20 a 64 Kg de N ha⁻¹, 40 a 200 Kg de P₂O₅ ha⁻¹ e de 24 a 80 Kg K₂O ha⁻¹, o que, dependendo da disponibilidade desses nutrientes no solo, pode acarretar em uma ampla variação na resposta ao desenvolvimento dendrométrico do plantio. A fonte desses nutrientes tem sido normalmente utilizada na forma de Sulfato de Amônio (21% N); Superfosfato Simples (21% P₂O₅); Superfosfato Triplo (45% P₂O₅) e Cloreto de Potássio (60% K₂O) (ANDA, 2017).

A nutrição de plantas é dependente da relação com a fertilidade natural do solo, disponibilidade de fertilizantes/corretivos, adubação em quantidade de nutriente requerida pela cultura (exigência nutricional) somado as perdas na erosão, lixiviação, volatilização; adsorção (MALAVOLTA, 2006). Com isso, dependendo da fertilidade do solo, da dinâmica dos nutrientes no sistema solo e planta, bem como a garantia adequada da nutrição às culturas,

o fator de eficiência médio encontrado em alguns trabalhos na literatura expressam de 20 a 40% de N e K e até 100% para o P, isso devido à alta imobilização de P principalmente em solos mais argilosos (GONÇALVES, 1995; SILVEIRA; GAVA, 2004; SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000).

No que se refere a adubação com micronutrientes, notadamente Boro (B), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Manganês (Mn) e Ferro (Fe), esta ainda é bastante indefinida por ser usada em pequenas quantidades. Trabalhos mostram que a aplicação de alguns desses elementos é necessária para a planta já nos estágios iniciais de crescimento, pois atuam principalmente no processo fotossintético e no alongamento e divisão celular (BELLOTE; FERREIRA, 1993; GONÇALVES, 1995; SILVA *et al.*, 2012). Assim, uma das maiores preocupações nas adubações com alguns micronutrientes, tais como B, Zn e Fe é a estreita faixa entre o nível adequado e o tóxico para a maioria das plantas (RAMOS *et al.*, 2009).

Malavolta (2006) destaca as principais funções estruturais e metabólicas dos macros e micronutrientes, tais como a) nitrogênio (N) e enxofre (S), nutrientes que são parte integral de compostos de carbono; b) fósforo (P), como nutriente essencial para armazenamento e uso da energia; c) cálcio (Ca) e o boro (B), como nutrientes associados com a parede celular; d) magnésio (Mg), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e o nitrogênio (N) como nutrientes que são constituintes de enzimas ou outros compostos essenciais do metabolismo. Além dessas funções, ainda se ressalta a ação dos nutrientes potássio (K), sódio (Na), Cloro (Cl), magnésio (Mg), cálcio (Ca), manganês (Mn), ferro (Fe), zinco (Zn) e cobre (Cu) como ativadores ou controladores de atividades enzimáticas

O empirismo que tem caracterizado as experimentações em nutrição de espécies florestais no Brasil, por vez sem a específica e detalhada caracterização bioclimática dos solos, faz com que seja necessário o estabelecimento de critérios de avaliação da fertilidade do solo, níveis de elementos minerais no solo e árvores, bem como, adubações compatíveis com as espécies e/ou clones (BANDEIRA; DIAS, 2016).

Diante disso, buscando a eficiência para utilização dos nutrientes pelas plantas é necessário analisar e testar materiais genéticos com capacidade de absorver, transformar e otimizar os nutrientes em uma maior biomassa florestal. Assim, é relevante a definição de dose consideradas adequadas em função da relação específica entre solo e planta, a forma e época de aplicação, além dos aspectos técnicos e econômicos (SILVEIRA; GAVA, 2004).

1.6.5 Produtividade de plantios de *Eucalyptus* spp.

O Brasil é uma referência mundial em produtividade florestal em relação a espécies de crescimento rápido. Em 2018, o setor alcançou um valor médio de produtividade de $36 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ apenas para a espécie *Eucalyptus* spp. (IBÁ, 2019). Entretanto, aliada às corretas práticas silviculturais, a produtividade média do gênero *Eucalyptus*, em plantios de empresas com produção verticalizada no sudeste do Brasil, já apresentou dados médios de até $50 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, segundo dados da Sociedade Brasileira de Silvicultura, podendo-se ainda encontrar áreas de plantios com uso de *Eucalyptus* spp. melhor adaptados e com uso de boa tecnologia, atingindo rendimentos próximos a $60 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}$ (BARROS *et al.*, 1990; BELLOTE; FERREIRA, 1993; MOTTA, 2010).

No Amapá, em raros empreendimentos na região amazônica, a empresa Jari Celulose obteve resultados com o híbrido de *E. grandis* X *E. urophylla* acima de $40 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ e em Açailândia, MA a empresa CELMAR S.A, com esse mesmo híbrido, chegou a superar $70 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (FERREIRA; SILVA, 2004). Nesse diapasão, um dos fatores que podem ser responsáveis por esta variação é o uso generalizado das mesmas formulações de fertilizantes minerais em extensas áreas, sem levar em consideração as variações locais, edáficas e dos híbridos que serão plantados, bem como a inexistência de critérios necessários ao uso dos fertilizantes na nutrição da espécie. Assim, Bellote e Ferreira (1993) ressaltam que o uso inadequado de fertilizantes pode alterar a dinâmica dos nutrientes no solo e, por conseguinte, limitar o desenvolvimento da planta

Outro fator importante a ser considerado é a utilização de técnicas cuidadosas que trazem resultados positivos aos atributos químicos do solo, planta e ao ecossistema de maneira geral, o que já vem sendo tratado na silvicultura avançada, como o uso de espécies e híbridos de *Eucalyptus* sp. mais adequados a cada condição edafoclimática das diversas regiões do Brasil (FERREIRA; SILVA, 2004).

Além dos avanços obtidos nos últimos anos, é inegável a contribuição de técnicas que aperfeiçoaram os cultivos florestais como, por exemplo, a silvicultura de precisão, o que só foi possível devido a demanda do mercado por produtos de origem certificada. A silvicultura de precisão é vista como uma alternativa a silvicultura tradicional, pois é preconizada em uso planejado e eficiente com emprego de técnicas tais como: a) preparo do solo; b) controle da degradação; c) uso de desbaste e desrama; d) adubação localizada e balanceada; e) controle de pragas, doenças e plantas invasoras e f) plantios de materiais melhorados geneticamente. A

adoção dessas técnicas tem como objetivo maximizar o rendimento dos plantios atrelado ao conceito de sustentabilidade (ANDA, 2017; PINTO *et al.*, 2011).

1.7 Avaliação do estado nutricional

O *Eucalyptus* spp. é a espécie florestal mais plantada nos programas de reflorestamento no Brasil. A técnica de fertilização e o processo de ciclagem de nutrientes são fundamentais para elevar e manter a produção florestal desses plantios (ZAIA e GAMARODRIGUES, 2004). A grande maioria das áreas de reflorestamento com *Eucalyptus* spp. está sobre solos muito intemperizados e lixiviados, portanto, com baixa disponibilidade de nutrientes (GONÇALVES, 1995).

A avaliação do estado nutricional e da fertilidade do solo para implantação de povoamentos florestais de *Eucalyptus* spp. possibilita identificar os nutrientes que podem ser limitantes para o crescimento do vegetal, sendo possível a realização de adubações corretivas visando tanto a manutenção como o aumento da produtividade florestal (SGARBI, 2002).

1.7.1 Métodos de avaliação do estado nutricional

1.7.1.1 Diagnose foliar

A análise foliar é uma ferramenta fundamental no diagnóstico do estado nutricional de culturas vegetais, utilizando o tecido do vegetal como o extrator dos nutrientes do solo, todo esse processo reflete em uma determinada concentração de nutrientes nessa porção particular da planta. Entretanto, com seu uso, o caráter qualitativo sobressai sobre o quantitativo, uma vez que somente é possível identificar o nutriente que limita a produção, o que não permite definir a quantidade de fertilizante necessária (SGARBI, 2002; MALAVOLTA, 2006; GARCIA, 2013).

Segundo Novais *et al.* (2007), a utilização da análise de tecidos pode ser aplicada no diagnóstico do estado nutricional de plantas devido a existência de uma simples relação entre estado nutricional e performance da planta com a composição foliar e estado nutricional. No entanto, a performance do vegetal é limitada pela interação do potencial genético com o ambiente, o que tem influência direta de fatores abióticos, sobretudo a luminosidade, temperatura, umidade, fertilidade do solo etc. Porém, se esses fatores forem controlados o vegetal responderá de maneira positiva, de forma a acumular nutrientes nos tecidos vegetais e, por conseguinte, converter todo o seu processo metabólico em biomassa. Por esse e outros

motivos é que a análise do tecido vegetal é importante quando se pretende estabelecer o status nutricional de uma planta ou cultura (SGARBI, 2002; NOVAIS, 2007).

Usualmente, a diagnose com base nos tecidos vegetais vem sendo amplamente empregada na avaliação do estado nutricional, na probabilidade de resposta à adubação, verificação do equilíbrio nutricional e no diagnóstico de deficiência ou toxidez por nutrientes (SGARBI, 2002; NOVAIS, 2007). No entanto, para que se tenha sucesso quando aplicado a técnica de diagnose foliar, Novais (2007) ressalta que é extremamente importante a utilização de três etapas, a saber: i) obtenção de padrões de referência; ii) normatização da amostragem, preparo da amostra e análise química do tecido e iii) interpretação dos resultados.

A interpretação é uma das etapas essenciais para o diagnóstico do estado nutricional dos vegetais, existindo atualmente vários métodos que auxiliam na interpretação, podendo ser estáticos e dinâmicos. No caso dos estáticos tem-se o Nível Crítico e Faixa de Suficiência (NC), Fertigramas, Desvio Percentual Ótimo (DOP) e, Índices Balanceados de Kenworthy (IBK). Estes métodos são realizados levando em consideração o teor de apenas um nutriente, comparando estes com o teor obtido nos padrões de referência, por isso em muitos casos são denominados de técnicas univariadas (MALAVOLTA, 2006; NOVAIS *et al.*, 2007; FERNANDES, 2010; GOTT *et al.*, 2014).

Para os métodos dinâmicos de interpretação tem-se: i) Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), é uma técnica bivariada e envolve a comparação das relações de cada par de nutriente encontrados em determinado tecido da planta com as relações dos valores médios correspondentes às normas preestabelecidas a partir de uma população de referência; ii) método dinâmico multivariado denominado de Diagnose da Composição Nutricional (CND)- técnica que utiliza a interação existente em todos os nutrientes em diagnósticos (MALAVOLTA, 2006; NOVAIS *et al.*, 2007; FERNANDES, 2010; GOTT *et al.*, 2014; DEUS, 2016).

1.7.1.2 Índices Balanceados de Kenworthy – IBK

A quantificação nutricional é uma ferramenta indispensável, sobretudo por ser uma forma de obter maior rendimento na aplicação de fertilizantes e melhorarias da produtividade. Nesse sentido, o método Kenworthy é um processo em que os nutrientes são analisados de forma isolada, ou seja, trata-se de uma técnica univariada que desconsidera a interação com outros nutrientes (CARVALHO, 2016; GOTT, 2013). De outro modo, é possível relacionar doses dos fertilizantes com a concentração do nutriente no tecido de uma determinada cultura,

obtendo-se as faixas de concentração nutricional que servirão de indicadores do estado nutricional (CANTARUTTI *et al.*, 2007; CARVALHO, 2016).

Os índices balanceados de Kenworthy são baseados na percentagem inerente aos desvios da concentração e o coeficiente de variação de um determinado nutriente comparado com a população de referência (norma). A característica do balanceamento é dada quando a concentração de qualquer nutriente na amostra for menor que o valor da concentração do mesmo nutriente contido na população de referência, para esse caso a influência da variabilidade é adicionada (CANTARUTTI *et al.*, 2007; GOTT, 2013). No entanto, quando for constatado que a concentração para um nutriente apresentar valores acima da norma de referência para o mesmo nutriente, subtrai-se a influência da variabilidade e, assim, obtêm-se os índices balanceados (CANTARUTTI *et al.*, 2007; GOTT, 2013).

Dessa forma, os resultados obtidos são organizados em gradiente de concentração, denominada de faixas, em que o extremo inferior é denominado de faixa de deficiência variando de 17 a 50%, e a extremidade superior chama-se faixa excessiva compreendendo o intervalo de 150 a 183% (CANTARUTTI *et al.*, 2007; GOTT, 2013).

1.7.1.3 Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação – DRIS

O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) foi proposto por Beuflis, em 1973, visando à avaliação do estado nutricional de plantas por meio dos nutrientes quantificados em determinada parte do tecido vegetal e a relação destes índices de forma pareada (N/P, P/K, K/Ca, Ca/Mg, etc.), caracterizando esse método como sendo bivariado. Os resultados obtidos são comparados com as relações médias e os respectivos desvios da população de referência (BEUFILIS, 1973; CANTARUTTI *et al.*, 2007).

Malavolta (2006) afirma que cada relação contém o máximo de um ou mais e o mínimo de um ou mais nutriente, gerando um índice para cada elemento proveniente da relação bivariada de cada nutriente com todos os demais, comparando-o com a produção de uma determinada cultura, permitindo assim, identificar os nutrientes mais limitantes no complexo de absorção entre solo e planta.

Esse método vem se destacando dos tradicionais, sobretudo quando comparados àqueles que consideram os teores dos nutrientes individualmente, como o nível crítico, faixa de suficiência e os Índices Balanceados de Kenworthy (IBK) (SERRA *et al.*, 2010).

O DRIS tem interpretações análogas à “lei do mínimo” (LIEBIG, 1840). Essa lei explica que a produção é limitada pelo nutriente que se encontra em menor disponibilidade, mesmo que todos os outros estejam disponíveis em quantidades adequadas.

Outra particularidade do método DRIS está ligada a capacidade de classificar os nutrientes quanto ao estado de limitação ao crescimento e desenvolvimento das plantas, desconsiderando a idade ou o órgão da planta a ser amostrada (SERRA *et al.*, 2010).

Entretanto, outra característica inerente a esse sistema está voltada à questão da amostragem, pois é necessário um largo número de observações de concentrações de nutrientes e de rendimentos de uma cultura, de forma a obter estimativas precisas de médias, desvios-padrões, variâncias e coeficientes de variação (CARNEIRO, 2014).

A aplicação do DRIS tem sido feita em larga escala em culturas agrícolas, principalmente nos cereais e nas oleaginosas (CARNEIRO, 2014). Os índices DRIS são valores de fácil leitura e entendimento, mas são produtos da aplicação de um grande número de cálculos, envolvendo basicamente quatro etapas fundamentais, a saber: i) a escolha da ordem de relação entre pares de nutrientes (as normas DRIS); ii) o cálculo do índice DRIS; iii) a função das razões dos nutrientes e iv) o somatório das funções envolvendo cada nutriente. Sendo que para a aplicação de cada um destes processos, existem várias fórmulas referenciadas pela bibliografia (WADT, 1999; CARNEIRO, 2014; MORAIS *et al.*, 2019).

Os índices DRIS podem assumir três classes, sendo oriundos dos valores negativos, em que os nutrientes são classificados como deficientes quando comparados aos demais; valores positivos, que indicam que o nutriente está em excesso, e valores neutros (próximo ou igual a zero), que indicam que o vegetal em análise está mais próximo do equilíbrio nutricional (CANTARUTTI *et al.*, 2007).

1.7.1.4 Diagnose da Composição Nutricional – CND

A interpretação do estado nutricional das culturas quando utilizada de forma correta, permite que se tenha uma maior produtividade, bem como melhor desempenho econômico. O uso dessa metodologia é observado como uma solução aos atuais modos de produção, sendo importante tanto para a agricultura quanto para espécies de ciclo longo. Além disso, os métodos passam por evoluções que permitem a obtenção de melhores resultados e uma maior clareza nas respostas (WADT *et al.*, 2013; MORAIS *et al.*, 2019).

Ainda como vantagem, o método CND apresenta a maior facilidade de cálculo dos índices nutricionais. Estes podem ser interpretados de forma semelhante aos índices DRIS, em função da ordem de limitação nutricional (DIAS *et al.*, 2011; WADT *et al.*, 2013; MORAIS *et al.*, 2019). O CND obtém normas de referência das relações multivariadas dos nutrientes, tendo sua essência preconizada no método DRIS, e com isso vem se consolidando cada vez mais, principalmente na definição dos valores de referência, que em algumas situações, é

empregado como parâmetro para validar os outros métodos de interpretação (ALI, 2018; EMBRAPA, 2018; MOSTASHARI *et al.*, 2018).

Originalmente o CND, que é uma técnica de diagnóstico criada por Parent e Dafir, em 2001, em que os nutrientes são considerados igualmente importantes, considerando todas as interações existentes entre si. Para isso, o diagnóstico dos índices é calculado com base nas variáveis multinutrientes e leva em consideração a média geométrica da composição nutricional do vegetal e a média aritmética das variáveis multinutrientes com seus respectivos desvios padrão, sempre com base na população de alta produtividade ou referência (FAQUIN, 2002; SILVA *et al.*, 2005; CANTARUTTI *et al.*, 2007; WADT *et al.*, 2013).

Na avaliação do estado nutricional, assim como no método DRIS, os valores dos índices CND que se aproximam de valores nulos também tendem a apresentar maior equilíbrio nutricional. Os métodos DRIS e o CND se destacam dos métodos convencionais, principalmente dos univariados, como o nível crítico e a faixa de suficiência (SILVA *et al.*, 2005; CANTARUTTI *et al.*, 2007; SERRA, 2010).

1.7.2 Potencial de Resposta à Adubação – PRA

O potencial de resposta à adubação, ou simplesmente PRA, é uma metodologia criada por Wadt em conjunto com o departamento de solos da Universidade Federal de Lavras, sendo empregada na interpretação dos valores dos índices nutricionais obtido pelos métodos DRIS e CND. Também é utilizado para verificar a concordância (similaridade) entre os resultados obtidos por diferentes métodos de interpretação do estado nutricional de culturas vegetais (WADT, 1996; DIAS *et al.*, 2011).

Para Cantarutti *et al.* (2007), dependendo do método utilizado na avaliação do estado nutricional, o valor absoluto do índice de balanço nutricional médio (IBNm) pode variar, ocasionado principalmente pela fórmula de cálculo ou pelas combinações dos nutrientes, dificultando no diagnóstico do potencial de resposta à adubação.

Para determinação do potencial de resposta à adubação são utilizadas cinco classes desenvolvidas por Wadt (1996), que permitem obter a interpretação do estado nutricional do vegetal em avaliação, sendo elas:

- Classe 1 - (P) Alta probabilidade de resposta positiva, é obtida quando o nutriente encontra-se na faixa de deficiência nutricional;
- Classe 2 - (PZ) Média probabilidade de resposta positiva, tem-se quando o nutriente apresenta probabilidade reduzida de insuficiência nutricional;

- Classe 3 - (Z) Equilibrado, o estado nutricional encontra-se na faixa ótima;
- Classe 4 - (NZ) Média probabilidade de resposta negativa, encontra-se quando a probabilidade de excesso nutricional é considerada baixa;
- Classe 5 - (N) Alta probabilidade de resposta negativa, obtido quando probabilidade de excesso nutricional é alta.

1.7.3 Eficiência de utilização de nutrientes

Existem diversos conceitos para eficiência nutricional de plantas. Enfatizando a produtividade, eficiência nutricional pode ser definida como a capacidade da planta em produzir alto rendimento em um meio que possua características que afetem diretamente a produção padrão (MACHADO *et al.*, 2003).

Geralmente, a eficiência é conceituada como a biomassa produzida por unidade de nutriente aplicada no solo, que depende de dois componentes principais, conforme postulado por Bailian *et al.* (1991), a saber: 1) eficiência de aquisição- depende das eficiências de absorção e de enraizamento e 2) eficiência de utilização- depende das eficiências de translocação e de conversão em biomassa.

Para a caracterização da eficiência de utilização de nutrientes, um índice bastante aceito foi proposto por Siddiqi e Glass (1981), através da equação: (matéria seca produzida) * (unidade do nutriente absorvido)⁻¹. Deste modo, reúne-se em um mesmo indicador a eficiência de utilização e o crescimento. O uso deste índice para classificação de genótipos para eficiência nutricional evita que plantas eficientes no aproveitamento nutricional, mas de baixa produção de biomassa, sejam selecionadas. Porém, sob o enfoque agrônomico, tem-se considerado apenas a biomassa de um produto ou compartimento da planta dividido pela quantidade de nutriente acumulado pela planta e, nestas situações, o termo coeficiente de uso biológico de nutriente (CUB) tem sido considerado mais apropriado (FAGERIA, 2000).

A sustentabilidade do ecossistema florestal depende, entre outros fatores, da estabilidade no balanço de nutrientes a curto, médio e longo prazo. Em função disso, práticas de manejo que tornem as plantas mais eficientes no uso de água e nutrientes são cada vez mais importantes para manter a capacidade produtiva do sítio florestal ao longo das rotações (ALMEIDA, 2009).

Devido às diferenças genotípicas que podem ocorrer e à interação genótipo com o ambiente, a capacidade de absorção, transporte e utilização dos nutrientes pelas plantas podem alterar-se (MARSCHNER, 1997). Portanto, cada genótipo tem habilidade diferenciada

de uso dos nutrientes absorvidos (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000). A eficiência de utilização de nutrientes (EUN) pode variar à medida que a disponibilidade de nutrientes no solo se altera (BARROS, 1986).

Para aumentar a eficiência na utilização dos nutrientes pelas plantas é necessário selecionar clones com facilidade de absorver e transformar esses nutrientes em biomassa florestal. Assim, é relevante a definição da dose adequada em função do tipo de solo e do material genético, aspectos técnicos e econômicos, bem como a forma e época de aplicação do fertilizante (SILVEIRA; GAVA, 2004).

1.8 A utilização de Redes Neurais Artificiais - RNA

A rede neural artificial (RNA) é uma ferramenta computacional desenvolvida com o intuito de simular o funcionamento do cérebro humano e seu sistema nervoso, apresentando uma memória capaz de estabelecer relações entre variáveis independentes para estimar variáveis dependentes (BRAGA; CARVALHO; LUDEMIR, 2007; DIAMANTOPOULOU, 2005).

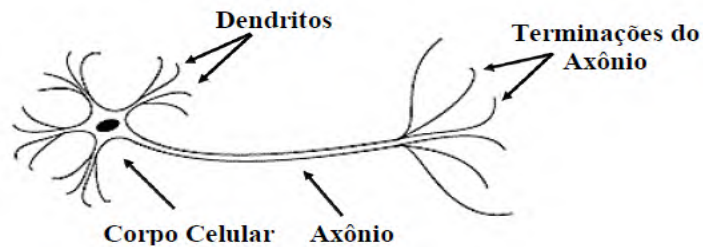
A primeira pesquisa envolvendo redes neurais artificiais foi realizada em 1943 pelo neurofisiologista Warren McCulloch e o matemático Walter Pitts, com o objetivo de estruturar uma rede neural simples usando circuitos elétricos e modelagem matemática na construção de algoritmos denominados lógica de limiar (threshold logic) (FIORIN *et al.*, 2011).

As RNAs apresentam-se como um mecanismo moderno, principalmente diante de seu emprego em diversas áreas da ciência, dando suporte em tomadas de decisões. Essa ferramenta baseia-se em simulações matemáticas análogas à lógica do raciocínio humano. Dessa forma, as RNAs são obtidas através de modelagem das variáveis relevantes em determinada análise, para resolver ou prever determinado problema (OSÓRIO, 1999; LEAL *et al.*, 2015).

Para se ter uma ideia de como funciona as RNA, deve-se compreender primeiramente o princípio do funcionamento de um neurônio biológico que se divide em três partes, sendo elas: o corpo celular, os dendritos e o axônio (Figura 1). Os dendritos são ramificações que recebem as informações, na forma de impulsos nervosos, provenientes de outros neurônios e as conduz para o corpo celular. Este processa as informações causando novos impulsos nervosos que são transmitidos através do axônio aos dendritos de outros neurônios, o ponto de contato entre a terminação do axônio de um neurônio e o dendrito de outro é chamado de sinapse. As sinapses são responsáveis pela formação das redes neurais e controlam o fluxo da informação entre os neurônios. Esta transmissão ocorre devido à liberação de moléculas

neurotransmissoras que determinam se a sinapse será inibitória ou excitatória (BRAGA; FERREIRA; LUDEMIR, 2000; SILVA, 2010).

Figura 1 - Modelo de um neurônio biológico.



Fonte: Adaptado de Cerri (2014).

As RNA podem ser criadas a partir de várias unidades individuais (neurônios artificiais ou elementos de processamento) relacionados com coeficientes (pesos), constituindo uma estrutura neural disposta em camadas, sendo que a resposta da mesma depende das funções de transferência de seus neurônios, através da aprendizagem e pela própria arquitetura (AGATONOVIC-KUSTRIN; BERESFORD, 2000).

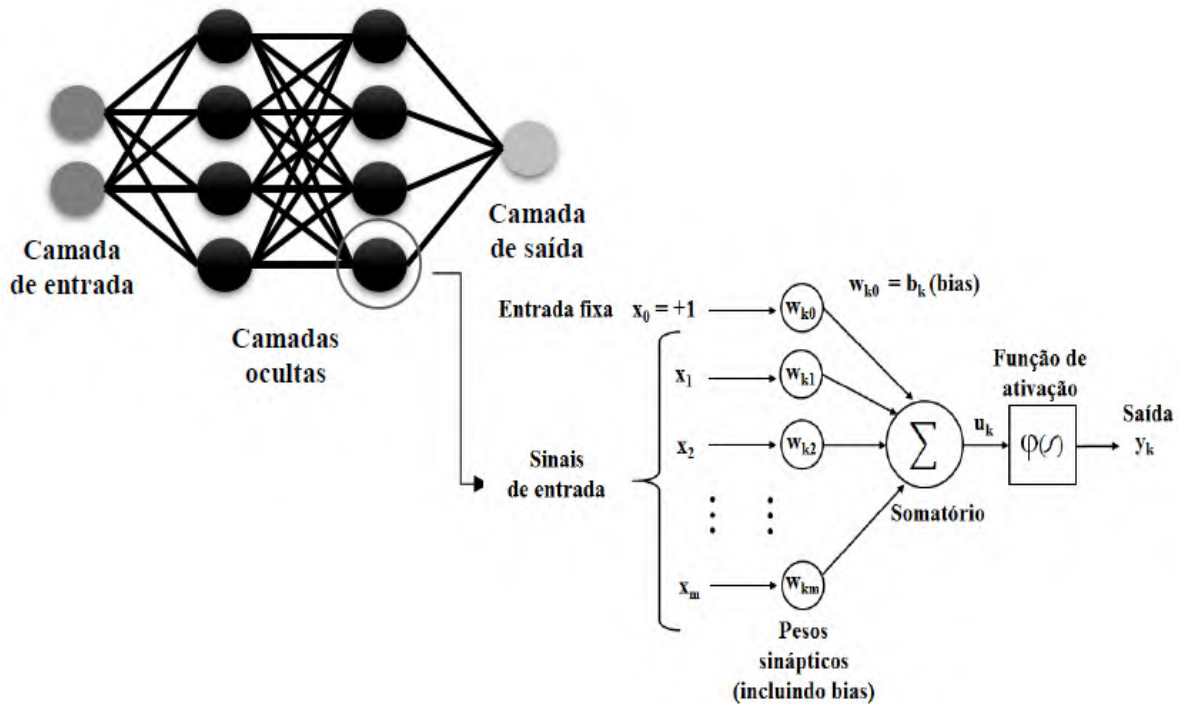
Variações nos números de neurônios em cada camada, tipo de função de ativação dos neurônios, número de camadas intermediárias e tipo de conexão entre neurônios podem diferenciar as RNA (BINOTI; BINOTI; LEITE, 2014).

Segundo Silva 2009), a quantidade de neurônios na camada intermediária é definida de forma empírica pela experiência do usuário, pois o número de neurônios por camadas não se baseia em nenhum critério, apenas em tentativa. Porém, quando o número de neurônios é elevado, pode acarretar na memorização dos dados de treinamento (BINOTI, 2012). Por outro lado, poucos neurônios na camada intermediária podem não ser suficientes para realização da tarefa desejada (SANTOS *et al.*, 2005). As principais funções de ativação são: identidade, exponencial, tangente hiperbólica e logística (BINOTI, 2014; DOMINGUES, 2015).

Diferente das técnicas convencionais de computação, onde um programa de computador precisa ser desenvolvido para resolver um dado problema, as RNA resolvem problemas por aprendizado e experiência, como ocorre com os seres humanos. Logo, as RNA têm apresentado desempenho superior aos modelos de regressão devido aos fatores, tais como: i) estrutura maciça e paralelamente distribuída (camadas), ii) habilidade de aprender e generalizar, iv) são tolerantes a falhas e ruídos e podem modelar diversas variáveis e suas relações não lineares, possibilitando a modelagem com variáveis qualitativas e quantitativas

(HAYKIN, 2001; MATIAS *et al.*, 2018). Na Figura 2, ocorre a representação de uma RNA perceptron multicamadas (MLP).

Figura 2 - Exemplo de um neurônio dentro de uma rede neural artificial MLP



Fonte: Adaptado Haykin (2001)

Segundo Melesse e Hanley (2005), essa rede recebe um conjunto de entradas ou sinais (x_m) com pesos (w_{km}), calcula uma média ponderada deles (u_k) usando a função de soma e então usa alguma função de ativação (ϕ) para produzir uma saída (y_k). O modelo contém um *bias* (b_k) que tem o efeito de aumentar ou diminuir a entrada líquida da função de ativação. Continuando, esse parâmetro é considerado como um peso sináptico associado a um novo sinal de entrada x_0 fixado no valor +1 (BINOTI, 2010).

As redes neurais artificiais vêm sendo amplamente experimentada nas ciências florestais para as mais diversas aplicações, tais como mensuração florestal, modelagem espacial entre outras. O uso dessa ferramenta justifica-se em razão de diferentes peculiaridades úteis e adaptáveis as alterações comportamentais de diferentes e complexos fenômenos, identificando e ponderando falhas e ruídos, e, dessa maneira os conjuntos de neurônios treinados e validados aprendem e generalizam para um conjunto de dados não supervisionados e complexos, como os ecossistemas florestais (HAYKIN, 2001; BINOTI, 2010; BINOTI, 2012; BINOTI *et al.*, 2014)

1.9 Questões científicas, hipóteses e objetivos da pesquisa

1.9.1 Questões científicas

Essa pesquisa finalidade de explicar as seguintes questões científicas:

- (a) Quais os métodos de avaliação nutricional indicam eficazmente as respostas de adubação em plantios de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* na Amazônia Oriental?
- (b) Quais os níveis de nutrientes que podem proporcionar o máximo potencial produtivo em plantios de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* na Amazônia Oriental?
- (c) As redes neurais artificiais podem estimar com confiabilidade o volume total de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* através do conteúdo de nutrientes contidos nos compartimentos acima do solo de árvores amostras?
- (d) Quais os níveis nutricionais proporcionarão a maior produtividade volumétrica em *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* na Amazônia Oriental?

1.9.2 Hipóteses

Buscando explicar esses fenômenos, foram testadas as seguintes hipóteses:

- (i) As avaliações do estado nutricional e os potenciais de resposta à adubação em plantios de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*, na Amazônia Oriental, pelos métodos de interpretação Kenworthy, DRIS e CND são concordantes;
- (ii) A biomassa e compartimentalização de nutrientes podem estimar o máximo potencial produtivo em *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*;
- (iii) As redes neurais artificiais são eficientes para estimar o volume total de árvores de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* através de variáveis nutricionais;
- (iv) O maior desenvolvimento inicial de variáveis dendrométrica em plantios de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* será no nível de adubação dado pelos máximos potencial produtivos de macro e micronutrientes;

1.9.3 Objetivos

Os experimentos foram conduzidos objetivando avaliar o estado nutricional e níveis de adubação de um plantio clonal de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* na Amazônia Oriental. Para a realização dos testes de hipóteses, planejaram-se os seguintes objetivos específicos:

- (a) Analisar o estado nutricional de plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* x *Eucaliptus grandis* através dos métodos de interpretação Kenworthy, DRIS e CND, bem como o potencial de resposta à adubação;
- (b) Estimar o máximo potencial produtivo a partir dos nutrientes contidos nos compartimentos das árvores de *Eucalyptus brassiana* x *Eucaliptus grandis*;
- (c) Analisar uso de redes neurais artificiais na estimativa do volume total de árvores de *Eucalyptus brassiana* x *Eucaliptus grandis* através de variáveis nutricionais;
- (d) Definir o nível de adubação que proporcione o máximo crescimento dendrométrico no estágio inicial de desenvolvimento de um plantio de *Eucalyptus brassiana* x *Eucaliptus grandis*.

REFERÊNCIAS

- AGATONOVIC-KUSTRIN, S.; BERESFORD, R. Basic concepts of artificial neural network (ANN) modeling and its application in pharmaceutical research. **J. Pharm Biomed Anal**, v. 22, n. 5, 2000, p. 717-27.
- ALI, A. M. Nutrient sufficiency ranges in mango using Boundary-Line approach and compositional nutrient diagnosis norms in El-Salhiya, Egypt. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, n. 2, p.188–201, 2018.
- ALMEIDA, J. C. R. **Nutrição, crescimento, eficiência de uso de água e de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* fertilizados com potássio e sódio**. 2009. 112 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais: Área de concentração em Silvicultura e Manejo Florestal) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- ARAÚJO, H. J. B. ***Eucalyptus* sp. tratado pode contribuir para redução do desmatamento na Amazônia**. 2011. Disponível em: <[http://www.painelflorestal.com.br/arquivo/Eucalyptus sp.-tratado-pode-contribuir-para-reducao-do-desmatamento-na-amazonia-faf9bde4c64a59a60f4fe41764cccd14](http://www.painelflorestal.com.br/arquivo/Eucalyptus_sp.-tratado-pode-contribuir-para-reducao-do-desmatamento-na-amazonia-faf9bde4c64a59a60f4fe41764cccd14)>. Acesso em: 12 de jan. 2018.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). Fertilizantes e o seu uso eficiente. Harold F. Reetz, Jr. Tradução: Alfredo Scheid Lopes. São Paulo, 2017. 179 p. Disponível em:< <http://www.ufla.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Fertilizantes-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x-1.pdf>> Acesso em: 21 Set. 2018.
- BAILIAN, L.; McKEAND, S.E.; ALLEN, H.L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, London, v.37, p.613-628, 1991
- BANDEIRA, R. S.; DIAS, T. S. **Estado nutricional de plantios clonais de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake, na mesorregião sudeste do estado do Pará**. 2016. 48 f. Trabalho de conclusão de curso, (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural Amazônia, Paragominas, 2016.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Relação solo-*Eucalyptus* sp.. Viçosa, MG: **Folha de Viçosa**, 1990. 330 p.
- BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)**. 1973. 132 f. A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. Pietermeritzburg, University of Natal, 1973.
- BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA C. A. Nutrientes Minerais e Crescimento de Árvores Adubadas de *Eucalyptus grandis*, na Região do Cerrado, no Estado de São Paulo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.26/27, p.17-28, Jan./Dez. 1993.
- BELLOTE, A.F.J. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus Grandis* hill ex- maiden em função da idade: 1 – macronutrientes. **IPEF** n.20, p.1-23. 1980.
- BELLOTTE, A. F. J. **Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex maiden, em função da idade**. Piracicaba. 1979. 129 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1979.

BERTOLA, A. *Eucalyptus* sp. - 100 Anos de Brasil: “Falem mal, mas continuem falando de mim!”. 2000. Disponível em: <[http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Eucalyptus sp._100%20anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Eucalyptus_sp._100%20anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2018.

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G. Configuração de redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 5, n. 1, p. 58-67, 2014.

BINOTI, M. L. M. S. **Emprego de redes neurais artificiais em mensuração e manejo florestal**. 2012. 130f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2012.

BINOTI, M. L. M. S. **Redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de *Eucalyptus* sp.** 2010. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-Mg, 2010.

BOOTH, T. H.; PRYOR, L. D. Climatic requirements of some commercially importante

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. L. F.; LUDEMIR, T. B. **Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007, 260p.

CALSAVARA, R. **Teste de Uso Múltiplo do *Eucalyptus***, 2016. Acesso: Disponível em: <<http://www.projetotume.com/grandis>>. Acessado em: 10 fev. 2018.

CANTARUTTI, R. B. *et al.* **Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes**. Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 769-850, 2007.

CARNEIRO, A. A. O. **Estabelecimento de Padrões Nutricionais para a Videira com recurso ao Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS)**. 2014. Tese (Doutorado- Ciências Agrárias) Curso de Ciências Agrárias - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, PT. 2014.

CARVALHO, M. B. **Curvas de resposta potencial e faixas de suficiência nutricional para Teca (*Tectona grandis*) No estado do Mato Grosso**. 2016. 42 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2016.

CONSELHOS DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. Guia do *Eucalyptus* sp.: oportunidades para um desenvolvimento sustentável. 2008. [S.I], 2008. 20 p.

DEUS, J. A. L. **Demanda, partição de nutrientes e recomendação de adubação para bananeira com base mm análise de solo, diagnose foliar e produtividade**. 2016. 126 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) -Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 2016.

DIAMANTOPOULOU, M. J. Artificial neural networks as an alternative tool in pine bark volume estimation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.10, n.3, 2005, p.235-244.

- DIAS, J. R. M. *et al.* Potencial de resposta à adubação para N, P, K, Ca e Mg em cupuaçueiros avaliados por diferentes normas DRIS. **Acta Amazonica**. v. 41, p 77-82. 2011.
- DOMINGUES, G. F. **Estimação de biomassa aérea e volume em povoamentos de *Eucalyptus* sp.s através de imagens do satélite alos**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2015, 55f.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Guia prático para aplicação do método da diagnose da composição nutricional (CND): exemplo de uso na cultura da cana-de-açúcar**. Ed. 1. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2018.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo de *Eucalyptus* sp. em propriedades rurais: diversificação renda**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2014. 140 p.
- FAGERIA, N. K. Eficiência do uso de potássio pelos genótipos de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 35, n. 10, p. 2115-2120, 2000.
- FAQUIN, V. (2002). **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 77.
- FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. 2002. 76 f. trabalho de conclusão de curso (Especialização em fertilidade do solo e nutrição de plantas no agronegócio) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2002.
- FARINHA e SILVA, C. A; BUENO, J. M.; NEVES, M. R. **A Indústria de Celulose e Papel no Brasil na Primeira Década do Século XXI**. A Indústria de Celulose e Papel no Brasil. Guia ABTCP - Fornecedores & Fabricantes - Celulose e Papel, 2015.
- FERNANDES, L. V. **Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus* sp. utilizando o método de Kenworthy, DRIS e CND na mesorregião sudeste paraense**. 2010. 97 f. Dissertação (mestrado em solos e nutrição de plantas)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da. *Eucalyptus* para a Região Amazônica, Estado de Rondonia e Acre. **Comunicado Técnico, 116** – EMBRAPA. Colombo, PR. Dezembro 2004. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/312711/4/comtec116.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2018.
- FIORIN, D. V.; MARTINS, F. R.; SCHUCH, N. J.; PEREIRA, E. B.. Aplicações de redes neurais e previsões de disponibilidade de recursos energéticos solares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 1309/1-1309/20, jan. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172011000100009>.
- FLORES, T. B. *et al.*, *Eucalyptus* no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação. Piracicaba: **IPEF**, 2016. 448p.
- FREITAS JUNIOR, G. **A história ambiental dos *Eucalyptus* sp.s: Austrália, Brasil e vale do Paraíba Paulista**. 2014. Disponível em: <[http://www.Eucalyptus.com.br/artigos/2014_Resenha_Eucalyptus sp.s_Gerson_Freitas_Jr.pdf](http://www.Eucalyptus.com.br/artigos/2014_Resenha_Eucalyptus_sp.s_Gerson_Freitas_Jr.pdf)>. Acessado em: 04 jan. 2018.

GALINARI, G.; SANTOS, A. R. **Manejo do *Eucalyptus* sp. auxilia a regeneração de florestas nativas.** 2014. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2202824/manejo-do-Eucalyptus sp.-auxilia-a-regeneracao-de-florestas-nativas](https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2202824/manejo-do-Eucalyptus-sp.-auxilia-a-regeneracao-de-florestas-nativas)>. Acesso em: 12 de jan. 2018.

GARCIA, M. B. **INAF: Software de interpretação de análise foliar.** 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado em ciência do solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2013.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, Piracicaba, SP, n. 15, p. 1-23, 1995.

GOTT, R. M. **Índices Diagnósticos Foliare para a Cultura do Milho no Alto Paranaíba, MG.** 2013. 80 f. Dissertação (Pós-Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, MG, 2013.

GOTT, R. M.; AQUINO, L. A.; CARVALHO, A. M. X.; SANTOS, L. P. D.; NUNES, P. H. M. P.; COELHO, B. S. Índices diagnósticos para a interpretação de análise foliar do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, PB, v.18, n.11, p.1110–1115, 2014.

GOTT, R. M.; AQUINO, L. A.; CARVALHO, A. M. X.; SANTOS, L. P. D.; NUNES, P. H. HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001, 900p.

HUBER, C.; COY, M. O setor florestal na Amazônia no caminho para o desenvolvimento sustentável? O estudo de caso: polo madeireiro de Sinop/MT. **In: Seminário Internacional Sobre Desenvolvimento Regional**, 8, 2017, Santa Cruz do Sul, RS. Anais. Santa Cruz do Sul, RS: [s.i.]. 2017.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA - IMAZON. 2010 **Fatos Florestais da Amazônia, PA.** Disponível em: <<http://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/outros/fatos/florestais/da-amazonia-pdf/2008>>. Acesso em 05 de junho de 2016.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES-IBÁ. **Relatório anual 2017.** Disponível em: https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf. Acesso em: 16 mar. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. Produção da extração vegetal e da silvicultura. (2018) Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=774>. Acesso em: 24 out. 2019.

LEAL, F. A. *et al.* Redes neurais artificiais na estimativa de volume em um plantio de *Eucalyptus* sp. em função de fotografias hemisféricas e número de árvores. **Revista Brasileira de Biometria.** São Paulo, v.33, n.2, 2015, p.233-249.

LIEBIG, J. VON. **Die chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie.** Veinegn, Braunschweig. 1840. 342 p.

- MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. C.; MACHADO, A. T. Índices de eficiência de variedades locais de melhoradas de milho ao fósforo. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 225-238, 2001.
- MACHADO, S.A; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba, 2003. 309p.
- MALAVOLTA, E. A.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Editora Potafós, 1997. 304 p.
- MALAVOLTA, E. *et al.* **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo, pioneira, 1974, 752 p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora agrônômica ceres, 2006. 638 p.
- MALAVOLTA, E. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas - RESENHA (Segunda Edição). **Informações agrônômicas nº 111**. Piracicaba - SP. Setembro, 2005. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/2462BB19482D5FB083257AA1006B21CB/\\$FILE/Page10-11-111.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/2462BB19482D5FB083257AA1006B21CB/$FILE/Page10-11-111.pdf)>. Acesso em: 20 Out.2 018.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Academic Press, London, 1997.
- MATIAS, H. B. *et al.* Algoritmo particle swarm optimization (PSO) no treinamento de redes neurais para estimativa de altura em povoamento de *Eucalyptus* sp.. **Ciência da Madeira**, v. 9, n.1, p. 1-8. 2018.
- MELESSE, A. M.; HANLEY, R. S. Artificial neural network application for multi-ecosystem carbon flux simulation. **Ecological Modelling**, v. 189, p. 305–314. 2005.
- MIRANDA, A. C. **Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênes de *Eucalyptus grandis***. 2012.
- MORAIS, T. C. B.; PRADO, R. M; TRASPADINI, E. I. F., WADT, P. G. S.; PAULA, R. C.; ROCHA, A. M. S.. Efficiency of the CL, DRIS and CND Methods in Assessing the Nutritional Status of *Eucalyptus* spp. Rooted Cuttings. **Forests**, v. 10, 786 p. 2019. DOI:10.3390/f10090786.
- MOSTASHARI, M.; KHOSRAVINEJAD, A.; GOLMOHAMMADI, M. Comparative study of DOP and CND methods for leaf nutritional diagnosis of vitis vinifera in Iran. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, n. 5, p. 576- 584, 2018. DOI:10.1080/00103624.2018.1432633.
- MOTTA, D.; DINIZ E. N.; SILVA, W. F. Rentabilidade na plantação do *Eucalyptus* sp.. In: SIMPÓSIO EM EXCELÊNCIA DE GESTÃO E TECNOLOGIA. 7., 2010. **Artigo**. [S. l.]. Associação Educacional Dom Bosco, 2010. 13 p.
- MOURA, V. P. G. **O germoplasma de *Eucalyptus cloeziana* F.Muell. no Brasil**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2003, 9 p.
- MOURA, V.P.G. **Relatório técnico: experimentação de *Eucalyptus* e *Pinus*, Região dos Cerrados**. Brasília. EMBRAPA/CPAC, 1988, 16p.

MOURA, V.P.G.; OLIVEIRA, J.B.; VIEIRA, V.M. Avaliação de Procedências de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake, em Planaltina-DF, Região de Cerrado. **IPEF**, Piracicaba, v.48, 1995.

NOCE, R. *et al.* Competitividade do Brasil no mercado internacional de aglomerado. **Rev. Árvore**, v.32, n.1, p.113-118. 2008.

NOVAIS, R. F.; ALVARES, V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. 1. Ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, 1017 p.

NOVAIS, R. F. de.; V, V. H. A.; BARROS, N. F. de.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de ciência do solo, 2007. 1017 p.

OSÓRIO, F. S. A Hybrid system for constructive machine learning. **Neurocomputing**, n.28, v.2, 1999, p.191-205.

PAINEL FLORESTAL. (2014). Fundo Vale Florestar é comprado pela Suzano por R\$ 529 milhões. **Interact Comunicação Empresarial**. Disponível em: <<http://www.painelflorestal.com.br/noticias/2014>>. Acesso em: 29 out. 2016.

PINTO, S. I. C.; NETO, A. E. F.; NEVES, J. C. L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B. S. Eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus* sp. na Fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciências Solo**, Lavras – MG, V. 35, p. 523-533, 2011.

PLANO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AMAZÔNIA LEGAL – PDSA. **Estudos diagnósticos setoriais, 2005 – 2008**. / Agencia de Desenvolvimento da Amazônia, Universidade Federal do Pará, Organização dos Estados Americanos. – Belém: ADA, 2006.

QUIQUI, E.M; MARTINS, S.S.; SHIMIZU, J.Y. Avaliação de espécies e procedências de *Eucalyptus* para o Noroeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 23, n. 5, 2001, p. 1173-1177.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; FERREIRA, R. M. A.; ARAÚJO, J. L.; CARVALHO, J. G. de. Crescimento e teores de boro em plantas de *Eucalyptus* sp. (*Eucalyptus citriodora*) cultivadas em dois latossolos sob influência de doses de boro e disponibilidade de água. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.1, p.57-65, 2009.

SANTOS, A. M. *et al.* Usando redes neurais artificiais e regressão logística na predição da hepatite A. **Rev. Bra.de Epidemiologia**, v. 8, n. 2, 2005, p. 117 – 126.

SERRA, A.P.; MARCHETTI, M.E.; VITORINO, A.C.T.; NOVELINO, J.O.; CAMACHO, M.A. Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.97-104, 2010.

SGARBI, F. **Produtividade do *Eucalyptus* sp., em função do estado nutricional e da fertilidade do solo em diferentes regiões do estado de São Paulo**. 2002. 114 f. Dissertação (mestrado em recursos florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2002.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Índice de utilização: uma abordagem modificada para a estimação e comparação de eficiência de utilização de nutrientes nas plantas. **Journal of nutrição de plantas**, v 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, G. G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ, V. H.; LEITE, F. P. Avaliação da Universalidade das Normas DRIS, M-DRIS e CND. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:755-761, 2005.

SILVA, G. G. C. **Nutrição, crescimento e sua modelagem em resposta a disponibilidade de água e nutrientes**. 2006. 84p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2006.

SILVA, M. L. M. *et al.* Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de *Eucalyptus* sp. **Rev. Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n. 6, 2009, p. 1133 – 1139.

SILVA, M. L. M. **Redes Neurais Artificiais Para Prognose Da Produção De Povoamentos Não Desbastados De *Eucalyptus* sp.** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa. 2010, 54f.

SILVEIRA, R. L. V. A. de.; GAVA, J. L. Nutrição e Adubação Fosfatada em *Eucalyptus*. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Ed. Potafós, 2004.

SILVEIRA, R. L. V. A.; CASARIN, V.; PAULA, T. A.; SILVEIRA, R. I. **Nutrição e Adubação com Boro em *Eucalyptus***. Piracicaba: RR agroflorestal, 2005. 32 p.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. **Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus***. (Informações Agronômicas, n. 91). Piracicaba: POTAFOS, 2000, 12 p.

SILVEIRA, R.L.V.A. *et al.* **Exigência nutricional de clones de *Eucalyptus* em relação a boro**. Relatório de pesquisa da Votorantim Celulose e Papel, Luís Antonio, 26p. 2002.

SNIF (Sistema Nacional de Informações Florestais). Recursos Florestais: As florestas Plantadas. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>>. Acesso em: 28 de dez. 2018.

SOARES, N. S. *et al.* Competitividade da cadeia produtiva da madeira de *Eucalyptus* sp. no Brasil. **Rev. Árvore**. vol.34, n.5, 2010, pp.917-928.

SOARES, T.S.; CARVALHO, R.M.M.A.; VALE A.B. **Avaliação econômica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos**. 2003.

TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. Eficiência nutricional em plantas. In: POLANCZYK, R. A. *et al.* (Coord.). **Estudos avançados em produção vegetal**. Alegre: Editora UFES, p.23-41. 2008.

VALERI, S. V.; CORRADINI, L.; FAZZIO, E. C. M.; CARRARA, M. A.; SOUZA, E. A.; AGUIAR, I. B.; BANZATTO, D. A.; BALERONI, J.; ABRAHÃO, I. S. Efeitos da adubação NPK e do calcário dolomítico no desenvolvimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Madein. **Silvicultura**, São Paulo, 1983.

VERRÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. Produção na Amazônia Florestal: características, desafios e oportunidades. **Parc. Estrat.**, Brasília-DF, v. 19, n. 38, p. 13-44, jan - jun. 2014.

WADT, P. G. S *et al.* Padrões nutricionais para lavouras arrozadeiras irrigadas por inundação pelos métodos da CND e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 145-156, 2013.

WADT, P. G. S *et al.* Variações no estado nutricional de *Eucalyptus* sp. por influência do material genético e da idade da árvore. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.10, p.1797-1803. 1999.

WADT, P.G.S. **Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de *Eucalyptus* sp.** 1994. 123 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Viçosa, MG 1996.

WILCKEN, C. F.; LIMA, A. C. V.; DIAS, T. K. R.; MASSON, M.V.; FILHO, P. J. F.; DAL POGETTO, M. H. F. A. **Guia Prático de Manejo de Plantações de *Eucalyptus* sp.** Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. Botucatu-SP, 2008.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus* sp. na região Norte Fluminense. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. 2004, vol.28, n.5, p.843-852.

2 ESTADO NUTRICIONAL E POTENCIAL DE RESPOSTA À ADUBAÇÃO DE PLANTIOS CLONAIIS DE *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*, UTILIZANDO OS MÉTODOS DE KENWORTHY, DRIS E CND NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO

A nutrição adequada é fundamental para manutenção do crescimento e produtividade de espécies florestais. Atualmente, novos padrões de monitoramentos vêm sendo estabelecidos para avaliação do estado nutricional através da diagnose foliar. Dessa maneira é possível diagnosticar a resposta de uma espécie à determinada quantidade de adubo e o quanto ele contribui para o crescimento do povoamento, além de determinar quais nutrientes estariam limitando o desenvolvimento de uma determinada espécie. Com isso, esta pesquisa tem por objetivo avaliar o estado nutricional de plantios de clones de *Eucalyptus brassiana* X *Eucalyptus grandis* através dos métodos de interpretação Kenworthy, DRIS e CND, bem como o potencial de resposta à adubação na Amazônia Oriental. O experimento foi realizado em 62 talhões distribuídos entre os municípios de Paragominas, Dom Eliseu e Ulianópolis, situados na mesorregião sudeste paraense. Entre os talhões estudados, 33 foram selecionados para composição de valores de referência na avaliação nutricional. As amostragens foliares foram coletadas aos 24 meses após o plantio de seis indivíduos, retirando os galhos do terço médio e coletando-se as folhas 3, 4, 5 e 6 a partir do ápice e as recém-maduras, totalizando uma amostra composta com 24 folhas por parcela experimental. A interpretação do estado nutricional foi realizada aplicando os métodos univariado, bivariado e multivariado de Kenworthy, DRIS, CND, respectivamente. Os nutrientes que mais limitaram a produção foram K, N e P, sendo esses com maior probabilidade de resposta positiva à adubação. Pelo grau de concordância entre diferentes métodos, as técnicas utilizadas nesta pesquisa foram similares na interpretação do estado nutricional do *Eucalyptus* sp. Para as condições desse estudo, as relações entre o estado e nutricional e a produtividade tiveram respostas positivas à adubação potássica, ademais, outros fatores limitantes também podem estar afetando a produtividade e devem ser investigados em pesquisas futuras.

Palavra-chave: Nutrição de plantas, produtividade, análise foliar, nutrientes limitantes.

NUTRITIONAL STATE AND POTENTIAL RESPONSE TO THE FERTILIZATION OF CLONAL PLANTS OF *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*, USING THE KENWORTHY, DRIS AND CND METHODS IN THE EASTERN AMAZON

ABSTRACT

Adequate nutrition is essential for maintaining the growth and productivity of forest species. Currently, new monitoring standards are being established to assess nutritional status through leaf diagnosis. In this way it is possible to diagnose the response of a species to a certain amount of fertilizer and how much it contributes to the growth of the population, in addition to determining which nutrients are limiting the development of a given species. Thus, this research aims to evaluate the nutritional status of plantations of clones of *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* through the methods of interpretation Kenworthy, DRIS and CND, as well as the potential for response to fertilization in the Eastern Amazon. The experiment was carried out in 62 plots distributed among the municipalities of Paragominas, Dom Eliseu and Ulianópolis, located in the southeastern region of Pará. Among the studied plots, 33 were selected to compose reference values in the nutritional assessment. Leaf samples were collected at 24 months after planting six individuals, removing the branches from the middle third and collecting leaves 3, 4, 5 and 6 from the apex and the fresh ones, totaling a sample composed of 24 leaves per experimental plot. The interpretation of the nutritional status was performed using the univariate, bivariate and multivariate methods of Kenworthy, DRIS, CND, respectively. The nutrients that most limited production were K, N and P, which are more likely to respond positively to fertilization. Due to the degree of agreement between different methods, the techniques used in this research were similar in the interpretation of the nutritional status of *Eucalyptus* sp. For the conditions of this study, the relationship between state and nutritional and productivity had positive responses to potassium fertilization, in addition, other limiting factors may also be affecting productivity and should be investigated in future research.

Keyword: Plant nutrition, productivity, leaf analysis, limiting nutrients.

2.4 Introdução

O Brasil é um dos países que se destaca entre os mais importantes na produção mundial de celulose, papéis, painéis de madeiras e bioenergia, sendo isso possível devido ao excelente desempenho das florestas plantadas (CIB, 2008; IBÁ, 2017). Atualmente, esses maciços florestais ocupam cerca de 9,90 milhões de hectares, contribuindo diretamente para o desenvolvimento econômico, além de gerar novos empregos nas diversas regiões do país (IBÁ, 2017; IBGE, 2018).

O crescimento do segmento florestal brasileiro foi possível devido à utilização de ferramentas que contribuíram para a melhoria dos resultados da produção, servindo de suporte ao manejo florestal desde a produção de mudas até a última etapa do ciclo (MATOS *et al.*, 2012; EMBRAPA, 2014; IBÁ, 2017).

Dentre as ferramentas que servem de suporte ao manejo florestal o controle de qualidade da produção se destaca, sendo levada em consideração a busca de informações pormenorizadas do desenvolvimento da floresta de determinada região. Dessa forma, um banco de dados com informações quali-quantitativas é construído, servindo de suporte para determinação do potencial de determinada espécie (MATOS *et al.*, 2012).

Atualmente, com o intuito de obter melhores rendimentos, novos padrões de monitoramentos vêm sendo estabelecidos, como, por exemplo, o método da avaliação do estado nutricional através da diagnose foliar. Nesse método, uma análise química laboratorial de partes de tecidos foliares é realizada, sendo esta intuitiva e correlacionada à maioria das atividades metabólicas ocorrentes nas folhas. Dessa maneira, é possível diagnosticar a resposta de uma espécie a determinada quantidade de adubo e o quanto esse contribui para o crescimento do indivíduo, além da possibilidade de determinar quais nutrientes estariam limitando o desenvolvimento (FAQUIN, 2002; MATOS *et al.*, 2012; GOTT, *et al.*, 2014).

Para a interpretação da diagnose foliar alguns métodos são utilizados, sendo estes definidos como métodos estáticos e dinâmicos. O primeiro consiste na comparação da concentração de determinado nutriente com sua norma e o segundo é denominado dinâmico devido à comparação em que dois ou mais elementos são relacionados (NOVAIS *et al.*, 2007; WADT *et al.*, 2013; MORAIS *et al.*, 2019).

O índice balanceado de Kenworthy é um exemplo de método estático ou univariado, conhecido pela praticidade na interpretação do estado nutricional, onde se verifica apenas a percentagem de desvio da concentração de dado nutriente em relação à norma (população de referência) (CANTARUTTI *et al.*, 2007). Por outro lado, um exemplo de método dinâmico

que se destaca é o sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS). Esse método de avaliação bivariada permite a comparação de nutrientes encontrados em certo compartimento do vegetal com as médias de nutrientes de uma determinada população de referência (NOVAIS *et al.*, 2007). Além desses métodos, também podemos destacar a diagnose da composição nutricional (CND). Esse método diagnóstico é considerado multivariado, pois leva em consideração as interações entre todos os nutrientes (NOVAIS *et al.*, 2007; FERNANDES, 2010; GOTT *et al.*, 2014).

Na região amazônica, são raras as pesquisas que tenham como tema a avaliação do estado nutricional de *Eucalyptus* spp., com a abordagem de métodos interpretativos uni e multivariados de diagnose foliares para a identificação de nutrientes limitantes a produção florestal, bem como a sua relevância no potencial de resposta à adubação desses povoamentos. Para tanto, novas pesquisas que envolvam técnicas mais robustas precisam ser abordadas, tais como os métodos de interpretação Kenworthy, DRIS e CND.

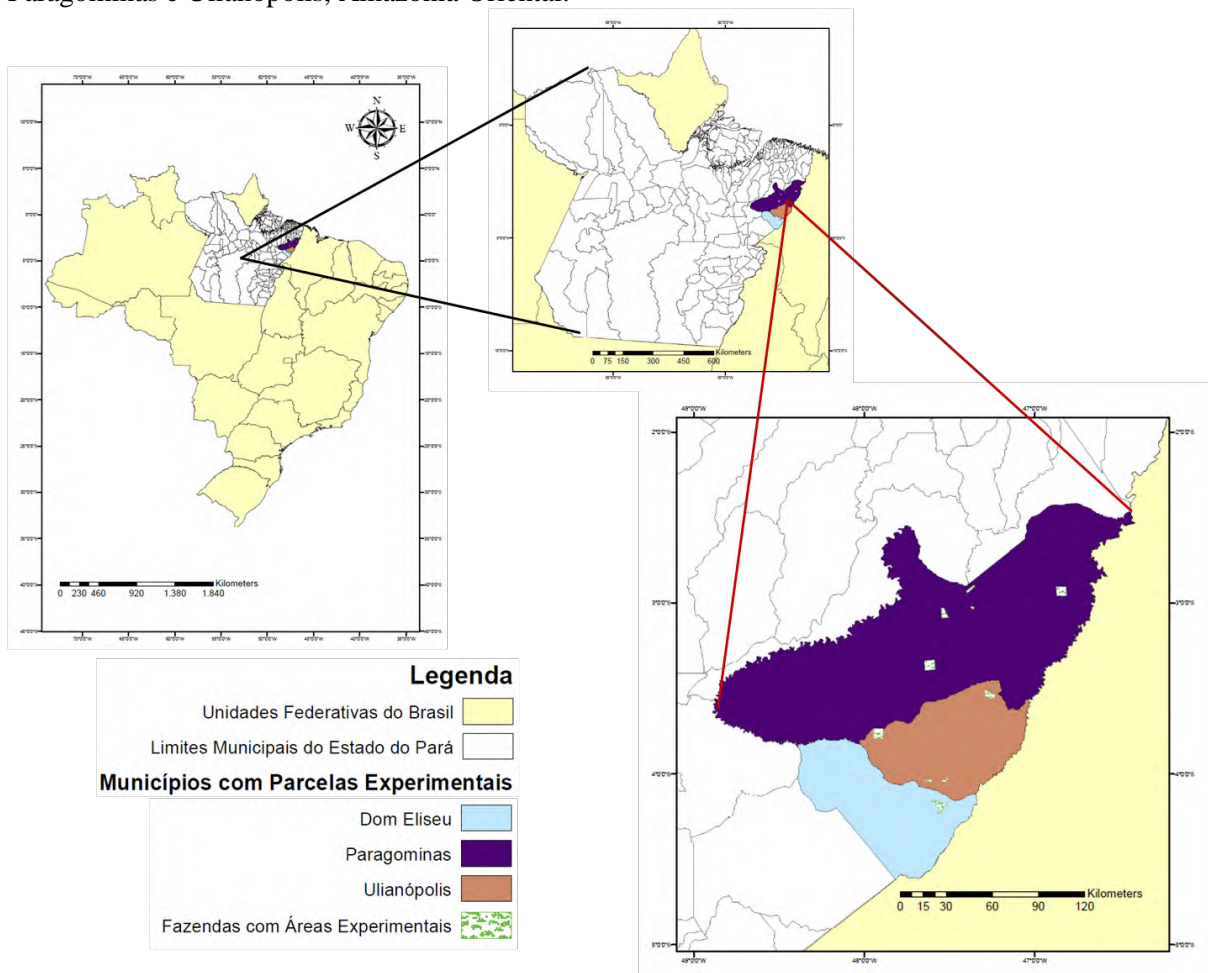
Considerando que os métodos de avaliações do estado nutricional e os potenciais de resposta à adubação podem ser concordantes e, portanto, utilizados em plantios de *Eucalyptus* spp na Amazônia Oriental como indicadores de produtividade dessa espécie. Como forma de explicar essa assertiva o trabalho teve, o objetivo de analisar o estado nutricional de plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden através dos métodos de interpretação Kenworthy, DRIS e CND, bem como o potencial de resposta à adubação.

2.5 Material e métodos

2.5.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado em uma área de 882,72 ha, correspondente a 62 talhões florestais plantados com clones de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* e espaçamento de 3,0 x 3,0 m entre plantas. A área experimental encontra-se distribuída entre propriedades localizadas nos municípios de Paragominas (228,52 ha), Dom Eliseu (446,69 ha) e Ulianópolis (207,51 ha). Esses municípios estão situados na mesorregião sudeste paraense, microrregião Paragominas (Figura 3). Doravante a área será denominada de talhão, como usualmente é conhecido nos plantios florestais.

Figura 3 - Mapa de localização das áreas experimentais situadas nos municípios de Dom Eliseu, Paragominas e Ulianópolis, Amazônia Oriental.



Fonte: Autor (2020).

O clima da região sudeste paraense é definido como “Aw” de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação anual de 1800 mm e temperatura média de 26 °C

(ALVARES *et al.*, 2013). A região é caracterizada por dois períodos climáticos: chuvoso e seco, sendo o chuvoso de dezembro até de maio, e o seco de junho a novembro (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010).

Os solos das áreas experimentais são classificados como Latossolo Amarelo distrófico, A moderado, com a textura variando entre muito arenoso a muito argiloso (EMBRAPA, 2018). A diferença na matriz textural das áreas experimentais dá-se basicamente pela ação de dois fatores de formação do solo, o clima e o relevo. Assim, a transição municipal no sentido de Dom Eliseu a Pargominas, apresenta, nos talhões utilizados, um gradiente decrescente no relevo e um aumento no regime pluviométrico.

2.2.1.1. Caracterização dos plantios

O clone de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* utilizado no experimento apresenta as seguintes características: folhas lanceoladas, em verde claro com pouca diferenciação entre folha juvenil e adulta; tem boa desrama natural; casca lisa, acinzentada, com desprendimento em placas; a densidade básica da madeira varia de 480 kg m⁻³ nas maiores produtividades até 495 kg m⁻³ nos plantios menos produtivos.

A adubação inicial foi realizada através da aplicação de 450 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo (sendo 33% de P₂O₅ total, 10% de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico e 37% de CaO) aplicado durante a operação de subsolagem, em pré-plantio com 60 cm de profundidade e, juntamente com a operação de plantio, o equivalente a 150 kg ha⁻¹ de NPK na fórmula 06-30-06 adicionado de micronutrientes (0,5% B, 0,3% Zn, 0,3% Cu - com Super Triplo), sendo aplicado em covetas laterais próximos às plantas. Além disso, 1,2 t ha⁻¹ de calcário foram aplicados mecanicamente após o plantio das mudas.

2.5.2 Coleta dos dados

A amostragem foliar foi realizada aos 24 meses após o plantio. Em cada parcela de 50 árvores foram amostrados seis indivíduos, retirando os galhos do terço médio e coletando-se as folhas 3, 4, 5 e 6 a partir do ápice e as recém-maduras, segundo recomendações descritas por Bellote e Silva (2005), totalizando uma amostra composta com 24 folhas por parcela experimental. Em meio às árvores escolhidas, foram selecionadas, no mínimo, três árvores dominantes por amostra de acordo com o conceito de Assmann (ASSMANN, 1970), por expressar melhor o potencial de produtividade das espécies.

Após a coleta, as folhas foram armazenadas em sacos de papel e conduzidas para laboratório onde foram lavadas com água destilada e colocadas em seguida em uma estufa de circulação forçada a 75 °C durante aproximadamente 72 h e, após seca, foram moídas com

peneira de 1 mm em moinho do tipo Willey e encaminhadas para o laboratório Terra Ltda, Goiás, para determinação os teores dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg seguindo a metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997).

2.5.3 Procedimento estatístico e planejamento da amostragem

Primeiramente, a análise estatística foi realizada para quantificar a intensidade amostral necessária, utilizando o processo de amostragem aleatória simples. O princípio básico desse método é similar ao do Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), isto é, qualquer uma das “n” unidades de amostra possíveis dentro da população devem ter a mesma probabilidade de ser sorteada, ou seja, de fazer parte da amostra. Assim, a definição de cada unidade amostral deve ser totalmente independente da escolha de qualquer outra unidade de amostra (BARROS, 2008). A intensidade amostral foi calculada aplicando a equação baseada na variância dos teores de nutrientes, em que se determinou o número de amostras para as populações infinitas, como pode ser observado pela equação abaixo (Equação 1).

$$\eta = \frac{t^2 * S^2}{E^2} \quad (1)$$

Onde:

n – Número de amostra necessária;

t- Valor tabelado (tabela de Student) a 5% de probabilidade;

S²- Variância da amostra analisada.

E- Erro máximo admissível, sendo erro de 10% (E = (0,1* \bar{X})).

Para o tratamento dos dados foi realizado o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e homogeneidade de variância ($\alpha=0,05$) através do *Software SPSS statistic*, caso verificado a heterocedasticidade, os dados foram transformados através da razão de uma unidade pela raiz do teor de nutriente em questão, ou aplicando o logaritmo natural.

Para obtenção das subpopulações de alta e baixa produtividade foi considerado o incremento médio anual em volume (IMA_{vol}), em que os valores iguais ou acima da média constituíram a subpopulação de referência, e valores abaixo da média formaram a subpopulação em diagnóstico. Os cálculos das funções e dos índices, para os métodos Kenworthy, DRIS e CND foram efetuados em planilhas eletrônicas do *Software Microsoft Office Excel*[®].

2.5.4 Índices Balanceados de Kenworthy - IBK

Os Índices Balanceados de Kenworthy (IBK) foram calculados de acordo com o conjunto de equações a seguir (Equações 2 e 3).

Quando $X_i < X$

$$IBK = (P+I)$$

$$P = \left(\frac{X_i}{X}\right) * 100 \quad (2)$$

$$I = (100-P) * \left(\frac{CV\%}{100}\right)$$

Quando $X_i > X$

$$IBK = (P-I)$$

$$P = \left(\frac{X_i}{X}\right) * 100 \quad (3)$$

$$I = (P-100) * \left(\frac{CV\%}{100}\right)$$

Em que:

X_i - Teor do nutriente na amostra;

X - Teor de nutriente padrão;

P - X_i em percentagem de X ;

$CV\%$ - Coeficiente de variação do teor na norma, dado em percentual;

I - Influência da variação; e

IBK - índice balanceado de Kenworthy, em percentagem.

De acordo com as equações acima descritas, o $CV\%$ tem grande influência na determinação dos índices. Assim, quando o valor da amostra estiver abaixo do padrão, a influência da variabilidade é adicionada, em caso contrário, ela é subtraída.

De acordo com Cantarutti *et al.* (2007), os índices padrão são classificados em cinco faixas: Faixa de deficiência (17 a 50%); Faixa marginal (50 a 83%); Faixa adequada (83 a 117%); Faixa elevada (117 a 150%) e Faixa excessiva (150 a 183%).

2.5.5 Obtenção dos índices diagnósticos foliares pelo método DRIS

Inicialmente, foi calculada a razão de variância das relações entre nutrientes da subpopulação de referência e baixa produtividade, tanto na relação direta como na inversa (LETZSCH, 1985).

Para cada par de relação direta ou inversa foi escolhida a média da relação, que apresentou a maior razão de variância entre a população de alta e baixa produtividade (Equação 4). O método reduzido proposto por Jones (1981) foi escolhido para essa pesquisa, pois no trabalho de Serra *et al.* (2010) e Gott (2013), foi observado que esse método apresentou melhor correlação com a produtividade.

$$F\left(\frac{A}{B}\right) = \left(\frac{A}{B} - \frac{a}{b}\right) \cdot \frac{k}{s} \quad (4)$$

Em que:

F(A/B) - função de variação calculada na relação entre nutrientes A e B;

A/B - Relação de nutriente da amostra (g kg^{-1} ou mg kg^{-1});

a/b - Média da relação de nutriente da norma (g kg^{-1} ou mg kg^{-1});

k - Constante de sensibilidade, em que, $k = 10$;

s - Desvio padrão da relação de nutrientes da norma;

Após o cálculo da relação entre os nutrientes, o índice DRIS (IA) foi definido para cada nutriente, pela equação abaixo (Equação 5).

$$IA = \frac{\left[F\left(\frac{A}{B}\right) + F\left(\frac{A}{C}\right) + \dots + F\left(\frac{A}{N}\right) - F\left(\frac{B}{A}\right) - F\left(\frac{C}{A}\right) - \dots - F\left(\frac{N}{A}\right) \right]}{2(n-1)} \quad (5)$$

Em que:

IA - Índice DRIS para o nutriente A;

A - Nutriente em avaliação;

B - Outro nutriente a ser analisado;

n - Número de nutrientes envolvidos na análise.

A soma dos valores absolutos dos índices DRIS obtidos para cada nutriente resultou no Índice de Balanço Nutricional (IBN), conforme equação abaixo (Equação 6). O quociente entre o valor de IBN e o somatório de nutrientes analisados (n) definiu o Índice de Balanço

Nutricional médio ($IBN_{\text{médio}}$), que representa a média dos desvios de cada nutriente em relação ao valor de referência (Equação 7) (SERRA *et al.*, 2010).

$$IBN = |IA|+|IB|+|IC|+...+|IN| \quad (6)$$

$$IBN_{\text{médio}} = IBN/n \quad (7)$$

Em que:

IA, IB... IN - Índice DRIS para os nutrientes em diagnóstico;

n - número de nutrientes avaliados.

2.5.6 Obtenção dos índices diagnósticos foliares pelo método CND

Para obtenção das normas pelo método CND, os teores foliares da subpopulação de referência foram trabalhadas de acordo com Khiari *et al.* (2001) e Wadt *et al.* (2013) para calcular as variáveis multinutrientes.

As normas foram determinadas pela média e o desvio padrão médio das variáveis multinutrientes da população de alta produtividade. Posteriormente, determinou-se o valor de toda biomassa foliar que não representa os nutrientes avaliados (R), de acordo com a equação abaixo (Equação 8).

$$R = 1000 - \Sigma X \quad (8)$$

Em que:

R- Valor da biomassa foliar que não representa os nutrientes avaliados.

X- Teor de nutriente da população de referência;

A partir do valor de (R), foi determinado a média geométrica (G) e a variável multinutriente de acordo com as respectivas equações abaixo, adaptada de Khiari *et al.* (2001) (Equações 9 e 10).

$$G = (A*B*C*N*R)^{\frac{1}{(n+1)}} \quad (9)$$

$$Vi = \ln \left(\frac{A}{G} \right) \quad (10)$$

Em que:

G - Média geométrica;

R - Valor da biomassa foliar que não representa os nutrientes avaliados;

A, B... N- Teor do nutriente em diagnóstico, em g kg^{-1} ;

n - Número de nutrientes;

V_i - variável multinutriente de determinado nutriente;

O índice para a Composição da Diagnose Nutricional (CND) de cada nutriente foi obtido pela fórmula de Jones (1981) (Equação 11).

$$IA = \frac{(V_i - v_i)}{S} \quad (11)$$

Em que:

IA - Índice CND do nutriente A;

V_i - Relação multivariada para o nutriente na amostra a ser diagnosticada;

v_i - Relação média multivariada para o nutriente na subpopulação de alta produtividade;

S - Desvio padrão da variável multinutriente na subpopulação de alta produtividade;

2.5.7 Potencial de resposta à adubação - PRA

A partir dos índices dos métodos DRIS e CND, os nutrientes foram classificados de acordo com o conceito de potencial de resposta à adubação (PRA). Foram determinadas cinco classe de acordo com o estado nutricional (Tabela 1), conforme Wadt *et al.* (1996); Cantarutti *et al.* (2007); Lana 2010); Gott (2013).

Tabela 1 - Critério para interpretação do potencial de resposta à adubação de acordo com índice DRIS.

ESTADO NUTRICIONAL	PRA	CRITÉRIO
Deficiente	Resposta Positiva (P)	i) $ID_x < 0$; ii) $ ID_x > IBNm$; iii) $ID_x =$ menor índice
Pouco deficiente	Resposta Positiva ou Nula (PZ)	i) $ID_x < 0$; ii) $ ID_x > IBNm$
Equilibrado	Resposta Nula (Z)	i) $ ID_x < IBNm$
Em excesso	Resposta Negativa ou Nula (NZ)	i) $ID_x > 0$; ii) $ ID_x > IBNm$
Excesso elevado	Resposta Negativa (N)	i) $ID_x > 0$; ii) $ ID_x > IBNm$; iii) $ID_x =$ maior índice

Em que: ID_x = índice DRIS ou CND do nutriente em diagnose; $IBNm$ = índice de balanço nutricional médio.

Fonte: adaptado de LANA *et al.*, 2010.

2.5.8 Concordância dos diagnósticos IBK, DRIS e CND

Para a análise de concordância entre os métodos IBK, DRIS e CND foi realizada uma homogeneização das variáveis qualitativas, em que as respostas obtidas pelo método IBK foram agrupadas em classes semelhantes ao potencial de resposta à adubação (PRA). Para a definição da concordância entre os métodos, levou-se em consideração a razão entre o número de talhões em que o diagnóstico foi idêntico pelo número total de talhões avaliados (GARCIA, 2013).

A frequência de diagnósticos concordantes do estado nutricional foi avaliada, classificando como limitantes por falta (LF) ou por excesso (LE), e a classe de resposta nula (z) foi denominada de não limitante (NL), determinados pelos métodos DRIS e CND (SILVA, 2016; SERRA, 2010).

2.6 Resultados e discussão

Dentre os 62 talhões amostrados, 33 (53,23%) apresentaram IMA_{vol} igual ou superior a $44,24 \text{ cm ha}^{-1}$, constituindo a subpopulação de alta produtividade. Os 29 talhões restantes (46,77%) apresentaram produtividade inferior e constituíram a subpopulação de baixa produtividade.

Considerando a intensidade amostral, os valores ideais por nutrientes mostraram que o número de amostras utilizadas foi suficiente, de forma que o nutriente que mais demandou unidades amostrais, em razão de sua variabilidade, foi o magnésio, sendo este na ordem de 60 amostras.

Os valores de intensidade amostral, bem como as variáveis de dispersão estatística permitem que os valores apresentados na pesquisa tenham confiabilidade estatística quanto ao tamanho da amostra utilizada e suas inferências para a população. Esses valores foram inferiores ao encontrados por Silva *et al.* (2004), que em seu estudo avaliando a diagnose nutricional do *Eucalyptus* sp. pelos métodos DRIS, MDRIS e CND, na região centro leste de Minas Gerais, utilizaram uma amostragem de 993 talhões, entretanto, a sua pesquisa difere quanto à grande variância na idade, oscilando entre 72 a 153 meses.

2.6.1 Índices balanceados de Kenworthy – IBK

Ao avaliar os parâmetros estatísticos utilizados como referência para aplicação do IBK, o N apresentou o menor valor do coeficiente de variação (7,07%) e o P o maior (85,22%) (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores de referência do método IBK para plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental, aos 24 meses de idade.

NUTRIENTES	MÉDIA (mg kg^{-1})	S (mg kg^{-1})	CV %
N	0,2538	0,0179	7,0717
P	0,2223	0,1895	85,2238
K	8,4792	2,0526	24,2072
Ca	14,4712	5,3042	36,6535
Mg	1,5319	0,4455	29,0830

Em que: CV%- coeficiente de variação e S- desvio padrão

Fonte: Autor (2019)

Nos talhões avaliados pelo IBK, o N foi o nutriente mais estável, com desvio padrão de $\pm 1,31$ %, O Ca e o Mg obtiveram os maiores desvios padrão da população estudada com $\pm 29,74$ % e $\pm 26,53$ %, respectivamente, seguida do P com $\pm 17,00$ % e do K com $\pm 13,69$ % (Tabela 2).

Tabela 3 - Produtividade (vol m³ ha⁻¹ ano⁻¹) - incremento médio anual em volume), e Índices IBK dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental, aos 24 meses de idade.

Município	Talhão	IMA _{vol} (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Índices IBK				
			N	P	K	Ca	Mg
Dom Eliseu	1	39,46	99,77	87,24	82,58	86,46	101,50
Dom Eliseu	2	39,46	98,87	100,13	97,67	64,39	108,08
Paragominas	7	30,26	100,36	97,19	78,69	119,75	115,94
Paragominas	8	30,26	99,42	122,17	82,90	120,26	117,05
Paragominas	9	25,09	98,77	109,91	87,18	122,14	119,09
Paragominas	10	25,09	98,05	88,71	98,24	111,48	107,23
Paragominas	11	18,75	98,00	95,58	101,12	113,20	109,30
Paragominas	12	18,75	99,79	106,60	88,51	101,79	97,79
Paragominas	13	9,75	99,02	95,59	86,44	127,83	124,68
Paragominas	14	9,75	99,94	100,89	94,70	131,05	128,00
Paragominas	15	40,43	100,62	98,90	101,08	127,17	123,65
Paragominas	16	40,43	99,91	88,01	73,89	144,25	141,73
Dom Eliseu	17	37,41	100,49	88,02	100,98	70,41	72,94
Dom Eliseu	18	37,41	101,11	89,07	104,98	71,51	76,13
Dom Eliseu	22	42,92	101,47	98,03	93,54	84,49	73,32
Dom Eliseu	23	42,92	100,84	157,24	96,39	78,13	81,69
Dom Eliseu	28	39,29	102,15	103,61	94,47	88,86	85,27
Dom Eliseu	29	39,29	102,13	149,41	84,45	81,98	79,76
Dom Eliseu	32	41,89	99,86	89,38	130,44	122,10	118,44
Dom Eliseu	33	41,89	99,92	95,47	97,08	126,81	123,19
Ulianópolis	37	40,71	99,22	85,61	108,15	81,47	116,95
Ulianópolis	48	36,55	95,54	89,97	71,63	122,68	119,13
Ulianópolis	49	36,55	100,05	86,21	80,84	106,96	102,62
Ulianópolis	50	22,77	98,30	103,28	80,15	165,67	164,33
Ulianópolis	51	22,77	99,39	85,71	75,97	140,54	137,96
Ulianópolis	52	36,14	99,44	100,62	89,97	142,75	139,58
Ulianópolis	59	37,65	99,47	97,89	80,34	184,06	183,64
Paragominas	61	31,44	99,95	91,07	66,19	142,85	140,34
Paragominas	62	31,44	99,53	93,18	67,49	142,48	139,56
-	S		1,31	17,00	13,69	29,74	26,53

Em que: S- Desvio padrão; N- nitrogênio; P- fósforo; K- potássio; Ca- cálcio e Mg- magnésio.

Fonte: Autor (2019)

O estado nutricional dos talhões avaliados pelo método de Kenworthy (IBK) expressou a ausência de deficiência para todos os macronutrientes. No entanto, foi constatado que 37,93% de K encontrava-se na faixa marginal de nutrição. O N foi identificado como

sendo o único nutriente que, segundo esse método, estava situado na faixa adequado (100%). Os demais (P, Ca e Mg) foram os nutrientes que apresentaram excessos de 3,45%, 10,34% e 6,90 %, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 - Estado nutricional dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, avaliado pelo método IBK, na Amazônia Oriental, aos 24 meses de idade.

NUTRIENTE	ESTADO NUTRICIONAL (%)				
	DEFICIÊNCIA	MARGINAL	ADEQUADO	ELEVADA	EXCESSIVA
N	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
P	0,00	0,00	89,66	6,90	3,45
K	0,00	37,93	58,62	3,45	0,00
Ca	0,00	20,69	24,14	44,83	10,34
Mg	0,00	17,24	31,03	44,83	6,90

Em que: N- Nitrogênio; P- fósforo; K- potássio; Ca- cálcio e Mg- magnésio.

Fonte: Autor (2019)

A reduzida ou nula frequência de nutrientes nas faixas de deficiência ou marginal sugere respostas à baixa sensibilidade do método IBK na avaliação do estado nutricional cujos teores ótimos dos nutrientes apresentam alta variabilidade. Nesse sentido, Rocha (2008) ressalta que a norma apresentada desse método tem sua precisão prejudicada, colocando as avaliações nutricionais dos talhões como equivocadas, requerendo-se, normalmente, uma amostragem maior. De outra forma, esses resultados de IBK indicam seu uso desde que complementares a outros métodos de diagnóstico como FS, NC, DRIS e CND para maior confiabilidade nas tomadas de decisões.

2.6.2 Normas DRIS e CND

As normas DRIS que possuem o N e o P como divisor ou denominador, com exceção das relações que utilizam o Mg, apresentaram resultados acentuados (Tabela 5).

Todos os talhões avaliados apresentaram desequilíbrio, conforme o índice de balanço nutricional (Tabela 6). Nesse contexto, podemos destacar o N como sendo o nutriente, segundo o índice DRIS, que mais esteve na faixa de equilíbrio nutricional e o K, identificado como sendo o nutriente mais deficiente entre os talhões em avaliação.

Tabela 5 - Relações bivariadas dos nutrientes foliares dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, na Amazônia oriental, aos 24 meses de idade.

RELAÇÕES	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV%
N/P	14,52	4,18	28,81
N/K	1,96	0,55	28,13
N/Ca	1,24	0,51	41,57
N/Mg	11,11	3,87	34,86
P/N	0,07	0,02	26,06
K/N	0,55	0,14	26,06
Ca/N	0,94	0,36	38,81
Mg/N	0,10	0,03	29,30
P/K	0,15	0,06	38,83
P/Ca	0,09	0,03	37,55
P/Mg	0,79	0,22	28,02
K/P	8,14	4,38	53,81
Ca/P	13,24	5,93	44,80
Mg/P	1,39	0,51	36,76
K/Ca	0,70	0,43	61,74
K/Mg	6,32	4,00	63,39
Ca/K	1,89	1,09	57,70
Mg/K	0,20	0,09	46,33
Ca/Mg	9,50	1,97	20,72
Mg/Ca	0,11	0,04	32,04

Em que: S - Desvio padrão; CV% - Coeficiente de variação dado em percentual

Fonte: Autor (2019).

Tabela 6 - Produtividade em incremento médio anual em volume (IMA_{vol}) pelos índices DRIS e IBN para plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental, aos 24 meses de idade.

Município	Talhão	IMA _{vol} (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	ÍNDICES DRIS					IBN
			N	P	K	Ca	Mg	
Dom Eliseu	1	39,46	2	3	-4	-4	3	16
Dom Eliseu	2	39,46	2	2	3	-18	11	36
Paragominas	7	30,26	1	-3	-7	6	3	20
Paragominas	8	30,26	0	-10	-2	7	5	24
Paragominas	9	25,09	-6	3	-6	5	3	23
Paragominas	10	25,09	-5	-4	1	5	3	18
Paragominas	11	18,75	-6	-1	1	4	2	14
Paragominas	12	18,75	0	3	-4	2	-1	10
Paragominas	13	9,75	-5	-1	-6	7	5	24
Paragominas	14	9,75	-6	1	-5	6	4	22
Paragominas	15	40,43	-4	0	-3	5	2	14
Paragominas	16	40,43	-4	3	-12	7	6	32
Dom Eliseu	17	37,41	8	1	4	-7	-6	26
Dom Eliseu	18	37,41	8	-3	6	-7	-4	28
Dom Eliseu	22	42,92	9	-4	2	1	-8	24
Dom Eliseu	23	42,92	2	18	-3	-9	-8	40
Dom Eliseu	28	39,29	7	-6	1	0	-3	17

Continua...

Continuação

Município	Talhão	IMA _{vol} (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	ÍNDICES DRIS					IBN
			N	P	K	Ca	Mg	
Dom Eliseu	29	39,29	13	-19	4	2	0	38
Dom Eliseu	32	41,89	-8	1	4	2	0	15
Dom Eliseu	33	41,89	-5	-1	-3	5	3	17
Ulianópolis	37	40,71	-8	30	-5	-14	-3	60
Ulianópolis	48	36,55	-8	-3	-7	10	8	36
Ulianópolis	49	36,55	4	-14	-3	7	5	33
Ulianópolis	50	22,77	-12	1	-12	12	11	48
Ulianópolis	51	22,77	1	-32	-6	20	18	77
Ulianópolis	52	36,14	-7	1	-7	8	6	29
Ulianópolis	59	37,65	-11	-1	-14	14	13	53
Paragominas	61	31,44	-1	0	-15	9	8	33
Paragominas	62	31,44	-3	-2	-15	10	9	39

Em que: N- Nitrogênio; P- fósforo; K- potássio; Ca- cálcio; Mg- magnésio e IBN- índice de balanço nutricional.
Fonte: Autor (2019)

Os talhões de nº 11, 12, 13, 14, 50 e 51 de menores e os de nº 22, 23, 32, 33, 15 e 16 de maiores valores IMA_{vol} apresentaram um perfil diferente do que se esperava em que seus índices de balanço nutricional médio (IBN médio) se aproximaram da nulidade. Porém, considerando que os melhores valores (correspondente aos com menores valores) de IBN não significam necessariamente que estes irão refletir na maior produtividade dos talhões, observou-se que no talhão 12, com o terceiro menor IMA_{vol} da pesquisa, apresentou o IBN médio mais próximo da nulidade. Já o talhão 23, que possui o maior IMA_{vol}, apresentou o quinto pior IBN (40), exprimindo que existem outros fatores bióticos ou abióticos interferindo na produtividade dos plantios avaliados (Tabela 6).

As normas para o método da Diagnose da Composição Nutricional (CND), com suas respectivas médias e desvio padrão obtidos para a subpopulação de alta produtividade (referência), estão dispostos na tabela abaixo (Tabela 7). O Ca apresentou a maior média das variáveis multinutrientes e o P, a menor. Já para o desvio padrão, o N obteve a menor variabilidade e P a maior.

Tabela 7 - Valores médios \pm Desvio padrão das variáveis multinutrientes pelo método CND, na subpopulação de alta produtividade dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*, na Amazônia Oriental, aos 24 meses de idade.

VARIÁVEL	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
V N	-2,82	0,23
V P	-3,39	0,87
V K	0,66	0,33
V Ca	1,16	0,32
V Mg	-1,06	0,27

Em que: V- Variável multinutriente; N- Nitrogênio; P- fósforo; K- potássio; Ca- cálcio; Mg- magnésio e S- desvio padrão. Fonte: Autor (2019)

Em análise aos índices CND e índice de balanço nutricional médio para a subpopulação de baixa produtividade, pode-se notar que, o N é um dos nutrientes que se manteve em grande parte na faixa nula de resposta a adubação, entretanto, foi constatada deficiência desse nutriente para apenas 3 talhões (11, 15 e 50) de baixa produtividade. Para o P foi notado que houve deficiência em somente dois talhões (48 e 51) (Tabela 8).

Tabela 8 – Produtividade, índice CND e índice de balanço nutricional por talhão de acordo com padrão de referência, aos 24 meses de idade.

Município	IMA _{vol} (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	TALHÃO	ÍNDICES CND					IBN
			N	P	K	Ca	Mg	
Dom Eliseu	39,46	1	1	-1	0	0	1	3
Dom Eliseu	39,46	2	0	1	0	-2	1	4
Paragominas	30,26	7	0	0	-1	1	1	3
Paragominas	30,26	8	-1	1	-2	0	0	4
Paragominas	25,09	9	-1	1	-1	0	0	3
Paragominas	25,09	10	0	-1	0	1	1	3
Paragominas	18,75	11	-1	0	0	1	0	2
Paragominas	18,75	12	-1	1	-1	0	0	3
Paragominas	9,75	13	-1	0	-1	1	1	4
Paragominas	9,75	14	-1	0	-1	1	1	3
Paragominas	40,43	15	-1	0	0	1	0	2
Paragominas	40,43	16	0	-1	-1	2	2	6
Dom Eliseu	37,41	17	2	-1	1	-1	-1	6
Dom Eliseu	37,41	18	2	-1	1	-1	-1	6
Dom Eliseu	42,92	22	1	0	0	0	-2	3
Dom Eliseu	42,92	23	-1	2	-1	-2	-2	8
Dom Eliseu	39,29	28	0	1	0	-1	-1	3
Dom Eliseu	39,29	29	0	2	-1	-1	-2	6
Dom Eliseu	41,89	32	0	-1	1	1	1	4
Dom Eliseu	41,89	33	-1	0	0	1	1	3
Ulianópolis	40,71	37	2	-3	2	1	3	11
Ulianópolis	36,55	48	-1	-1	-1	2	2	7
Ulianópolis	36,55	49	2	-2	0	2	2	8
Ulianópolis	22,77	50	-2	0	-2	2	1	7
Ulianópolis	22,77	51	2	-3	0	3	3	11
Ulianópolis	36,14	52	-1	0	-1	1	1	4
Ulianópolis	37,65	59	-1	0	-2	2	2	7
Paragominas	31,44	61	0	-1	-2	2	2	7
Paragominas	31,44	62	0	0	-2	2	2	6

Em que: N- Nitrogênio; P- fósforo; K- potássio; Ca- cálcio; Mg- magnésio e IBN- índice de balanço nutricional.
Fonte: Autor (2019)

Ao analisar o K, verificou-se que em cinco talhões (8, 50, 59, 61 e 62) foram observadas a deficiência desse nutriente, sendo o restante enquadrado como adequado ou excessivo de acordo com o potencial de resposta à adubação. No caso do Ca e do Mg, foi identificado apenas um talhão como deficiente (Tabela 8).

O equilíbrio do N na maioria dos talhões é um fenômeno que, de maneira geral, indica a influência na matéria orgânica no teor desse nutriente, o que influencia a ciclagem desse elemento pelas plantas, ou através do teor de matéria orgânica no local de estudo que, dependendo da região, é uma forma predominante para obtenção desse nutriente, além de outras formas como o nitrato, oriundos da atmosfera ou pela ação de microrganismos responsáveis pela fixação biológica. entretanto com o passar do tempo, a resposta do solo a determinados nutrientes diminui devido à redução de matéria orgânica, (RAIJ, 1981; MALAVOLTA, 1997; MALAVOLTA, 2006; CANTARUTTI *et al.*, 2007; BANDEIRA; DIAS, 2016).

No entanto, solos com frequentes adubações fazem com que essas respostas sejam também melhoradas com aumentos gradativos dos nutrientes, e a concentração desse elemento na planta pode ser explicada através do fato deste ser um dos principais responsáveis pelas reações bioquímicas dos vegetais, sendo um dos nutrientes absorvidos em grande quantidade (RAIJ, 1981; MALAVOLTA, 1997; MALAVOLTA, 2006; CANTARUTTI *et al.*, 2007; BANDEIRA; DIAS, 2016).

Em relação à deficiência de P identificada pelos diferentes métodos, isso pode ser explicada por fatores como a idade da planta, a acidez do solo, características locais como a baixa disponibilidade desse nutriente, pelo tipo e pela quantidade de minerais presentes na fração de argila e pela adubação fosfatada. Assim, constantes reposições são necessárias devido às necessidades nutricionais ou por fenômenos intrínsecos a esse nutriente como a baixa solubilidade e a forte tendência a sua adsorção no solo (RAIJ, 1981; WADT *et al.*, 1999; MALAVOLTA, 2006).

O uso de adubação à base de P é essencial para manter a produtividade de qualquer cultura vegetal, haja vista que esse nutriente está ligado diretamente às funções que regulam as atividades enzimáticas e também as transferências de energia na planta. Por isso, concentrações baixas desse nutriente retardam e, às vezes, inibem o crescimento vegetal. Desse modo, a avaliação do estado nutricional dos vegetais é necessária, de modo que essa deficiência seja identificada e posteriormente corrigida (FAQUIN, 2005; MAPA, 2013).

Através dos métodos DRIS e CND, foi observado que o K foi o nutriente mais limitante nos talhões avaliados. Wadt (1998), encontrou resultado semelhante em plantios

comerciais de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *E. urophylla*, no estado do Espírito Santo. Entretanto, Rocha (2008) encontrou resultado diferente em plantios jovens de *Eucalyptus* sp. na Bahia, em que o nutriente mais limitante foi o Ca, concordante ao estudo de Wadt (2004).

Como entendimento à deficiência de K, isso demonstra que o teor desse nutriente sofreu influência da adubação realizada na área, que por sua vez pode não ter sido suprida na quantidade demandada. Ademais, esse nutriente possui bastante mobilidade na planta, sendo distribuído tanto pelo xilema quanto pelo floema (FAQUIN, 2005). Outra possibilidade é de que esse déficit na concentração do K seria a competição por sítios de troca nos colóides do solo com o Ca e o Mg, diminuindo assim a disponibilidade desse nutriente no meio (MAPA, 2013). Nesse contexto, a correção desse elemento, via fertilização, é fundamental para garantir uma melhor produção, pois o K apesar de não ser um elemento estrutural, participa no transporte e distribuição de assimilados oriundos da atividade fotossintética (FAQUIN, 2005; MAPA, 2013; BANDEIRA; DIAS, 2016).

De acordo com Faquin (2005) e MAPA (2013), às deficiências de Ca e Mg constatadas, pode ter ocorrido em razão da aplicação deficitária do corretivo carbonático ao solo, uma vez que esses nutrientes são de baixa mobilidade no solo e na planta, necessitando de uma aplicação adequada na fase inicial de desenvolvimento vegetal, com vista a manter a produtividade futura.

Manter a quantidade de Ca equilibrada é necessário pelo fato desse nutriente ser um dos constituintes da parede celular, além de fazer parte do alongamento e da divisão celular (FAQUIN, 2005; MAPA, 2013). No caso do Mg, níveis adequados nas plantas são fundamentais, pois esse nutriente é um dos componentes responsáveis por reações de síntese dos compostos orgânicos, além de ser constituinte da molécula da clorofila e também auxiliar nas ativações enzimáticas, como as enzimas fosforilativas, que atuam na transferência e incorporação do fósforo inorgânico (MAPA, 2013).

As normas podem ser influenciadas por diversos fatores bióticos e abióticos, tais como qualidade do sítio florestal, material genético (WADT, 1996; ROCHA, 2008), estação climática (seca ou chuvosa) em que são feitos os plantios, a amostragem dos tecidos foliares e o manejo hídrico e nutricional (SILVA, 2006).

Desta forma, as diferentes variabilidades nas normas e o comportamento atípico dos talhões avaliados podem ser compreendidos, pois, essa heterogeneidade era esperada, sobretudo em virtude das mudanças topográficas em que os sítios estão inseridos o que não é levado em consideração e assim esses diferentes lugares são utilizados para fazer uma única norma para mesorregião de sudeste do Pará.

2.6.3 Potencial de Resposta à adubação para os índices IBK, DRIS e CND

No potencial de resposta à adubação (%) obtida para o N, foi observado que pelo método IBK todos os talhões de baixa produtividade avaliados (100%) encontraram-se na classe nula (Z). No método DRIS, 44,83% dos talhões avaliados encontraram-se na faixa de resposta positiva (P) ou positiva nula (PZ), sendo o restante 37,93% e 17,24% situando-se nas faixas nula e negativa (N), respectivamente. No método CND, 10,34% dos nutrientes situaram-se na classe de resposta positiva a adubação (P), e que 82,76% dos talhões foram inclusas na classe nula de resposta à adubação (Z) e o restante (6,90%) enquadraram-se na classe de resposta negativa (N) a adubação (Tabela 9).

Tabela 9 - Frequência do potencial de resposta à adubação (PRA%) de N, P, K, Ca e Mg determinada pelos métodos IBK, DRIS e CND, em amostras de folhas dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, coletadas na Amazônia Oriental, na subpopulação de baixa produtividade, aos 24 meses de idade.

MÉTODO	NUTRIENTE	PRA (%)				
		P*	PZ	Z	NZ	N*
IBK	N	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
DRIS		37,93	6,90	37,93	0,00	17,24
CND		10,34	0,00	82,76	0,00	6,90
IBK	P	0,00	0,00	89,66	6,90	3,45
DRIS		17,24	0,00	72,41	0,00	10,34
CND		6,90	0,00	89,66	0,00	3,45
IBK	K	0,00	37,93	58,62	3,45	0,00
DRIS		37,93	3,45	51,72	3,45	3,45
CND		17,24	0,00	82,76	0,00	0,00
IBK	Ca	0,00	20,69	24,14	44,83	10,34
DRIS		17,24	3,45	20,69	0,00	58,62
CND		3,45	0,00	65,52	13,79	17,24
IBK	Mg	0,00	17,24	31,03	44,83	6,90
DRIS		3,45	3,45	58,62	31,03	3,45
CND		3,45	0,00	72,41	3,45	20,69

Em que: N- Nitrogênio; P- fósforo; K- potássio; Ca- cálcio; Mg- magnésio e IBN- índice de balanço nutricional; P*- Resposta positiva; PZ- positiva ou nula; Z- nula; NZ- negativa ou nula e N*- negativa.

Fonte: Autor (2019)

No que se refere as respostas do PRA (%) para o P foi observado através do método IBK que 89,66%, 6,90% e 3,45% dos talhões estavam na faixa nula (Z), negativa ou nula (NZ) e negativa (N), respectivamente. No método DRIS, 17,24% dos talhões situaram-se na classe positiva (P), 72,41% na classe nula (Z) e 10,34% na classe negativa (N). Resultados próximos também foram obtidos pelo método CND, sendo que apenas 6,90% dos talhões encontraram-se na faixa positiva (P), 89,66% na faixa nula (Z) e 3,45% na faixa negativa (N).

Para o PRA (%) do K, foi observado que no método IBK, 37,93%, 58,62% e 3,45% dos talhões estiveram situados, respectivamente, nas faixas: positiva nula (PZ), nula (Z) ou negativa ou nula (NZ) para esse nutriente. Entretanto, no método DRIS, esse resultado diferiu, sendo que 37,93% dos talhões estiveram na faixa positiva (P), 3,45% na faixa positiva nula (Z), 51,72% na classe nula, 3,45% nas faixas negativa nula (NZ) ou negativa (N). Em análise ao método CND para o K, verificou-se que os resultados foram de 17,24% para os talhões classificados com potencial de resposta positiva (P) e o restante, 82,76% situados na classe de resposta nula (Z).

Ao avaliar o PRA (%) do Ca através do método IBK, foi verificado que 20,69%, 24,14%, 44,83% e 10,34% dos talhões foram classificados, respectivamente, como sendo de resposta positiva nula (PZ), nula (Z), negativa nula (NZ) e negativa (N). Por outro lado, através da metodologia DRIS, esses resultados diferiram, pois 17,24% dos talhões foram classificados com resposta positiva (P), 3,45% sendo de resposta positiva nula (PZ), 20,69% na classe de resposta nula (Z) e 58,62% dos talhões na classe de resposta à adubação negativa (N). Resultados diferentes dos dois outros métodos também foram obtidos pela metodologia CND, em que 3,45% dos talhões foram agrupados na faixa positiva de resposta (P), 65,52% na faixa nula (Z), 13,79% e 17,24% foram classificados nas faixas negativa nula (NZ) e negativa (N), respectivamente.

Em relação ao Mg, o potencial de resposta à adubação (PRA%) encontrado através do método IBK apresentou 17,24%, 31,03%, 44,83% e 6,90% dos talhões classificados, respectivamente, como sendo de resposta positiva nula (PZ), nula (Z), negativa nula (NZ) e negativa (N). No método DRIS, 6,90% dos talhões encontraram-se dentro da faixa de resposta positiva (P) ou positiva nula (PZ), 58,62% como sendo de resposta nula (Z) e 34,48% dos talhões como sendo de resposta negativa nula (NZ) ou negativa (N). O PRA (%) realizado através do método CND apresentou 3,45% dos talhões na faixa de resposta positiva (P), 72,41% com resposta nula (Z) e 3,45% dos talhões com resposta negativa nula (NZ) e 20,69% na classe negativa (N).

Em relação à concordância entre os diferentes métodos de interpretação da diagnose foliar, foi observado similaridade acima de 60% entre os métodos IBK e DRIS para os nutrientes P, K e Mg. Porém, o P se deu como o nutriente que mais foi concordante entre todos os outros avaliados (93,10%). Ainda não foi constatado o mesmo efeito para o N e Ca, sendo a concordância entre os métodos abaixo de 50% (Tabela 10).

Tabela 10 - Frequência de talhões com diagnoses concordantes do potencial de resposta à adubação (PRA), determinada pelos métodos IBK, DRIS e CND, em amostras de folhas dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*, coletadas na Amazônia Oriental, na subpopulação de baixa produtividade, aos 24 meses de idade.

MÉTODO	PRA	N	P	K	Ca	Mg	MÉDIA
IBK-DRIS		37,93	93,10	65,52	48,28	62,07	61,38
IBK-CND	%	82,76	82,76	58,62	31,03	34,48	57,93
DRIS-CND		55,17	75,86	62,07	37,93	48,28	55,86

Em que: N- Nitrogênio; P- fósforo; K- potássio; Ca- cálcio e Mg- magnésio

Fonte: Autor (2019)

A concordância entre os métodos IBK-CND foi acima de 58% para os nutrientes N, P e K, com destaque para o N e P que tiveram uma similaridade acima de 82%. Por outro lado, os nutrientes Ca e Mg apresentaram uma discordância de aproximadamente 66%.

Em relação à comparação entre os métodos DRIS-CND, foi notado que houve uma maior concordância entre os nutrientes N, P e K, com valores de similaridade acima de 55%. O oposto disso foi obtido para os nutrientes Ca e Mg, para os quais verificou-se valores abaixo de 50%, ou seja, com grau de discordância maior que 50% entre esses dois métodos.

A concordância média entre os métodos IBK-DRIS foi de 61,38%, IBK-CND igual a 57,93% e DRIS-CND de 55,86% no potencial de resposta à adubação (Tabela 10). Esse grau de concordância, obtido tanto pelo método estático (IBK) quanto pelos métodos dinâmico (DRIS e CND) não condizem com o descrito por Serra *et al.* (2010), em que a utilização de métodos dinâmicos permite avaliar com maior exatidão os diagnósticos do estado nutricional dos vegetais

Para o estado nutricional do *Eucalyptus* sp. foram obtidas as frequências da diagnose para cada nutriente utilizando os diferentes métodos (Tabela 11). Ao analisar o método IBK pode-se observar que o estado nutricional para o N em todos os talhões de baixa produtividade foi classificado como não limitante (NL). No método DRIS, 44,83% dos talhões foram identificados como sendo limitante por falta (LF), 37,93% agrupado na classe não limitante (NL) e 17,24% dos talhões classificados como limitante por excesso. Na análise do método CND foi constatado que o estado nutricional do plantio dos talhões de baixa produtividade encontrou-se na faixa do limitante por falta (LF 10,34%), não limitante (NL 82,76%) e limitante por excesso (LE 6,90%).

Tabela 11 - Frequência de diagnose do estado nutricional de N, P, K, Ca e Mg determinadas pelos métodos IBK, DRIS e CND, em amostras de folhas dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, coletadas na Amazônia Oriental, na subpopulação de baixa produtividade, aos 24 meses de idade..

MÉTODO	NUTRIENTE	ESTADO NUTRICIONAL (EN %)		
		LF	NL	LE
IBK	N	0,00	100,00	0,00
DRIS		44,83	37,93	17,24
CND		10,34	82,76	6,90
IBK	P	0,00	89,66	10,34
DRIS		17,24	72,41	10,34
CND		6,90	89,66	3,45
IBK	K	34,48	62,07	3,45
DRIS		41,38	51,72	6,90
CND		17,24	82,76	0,00
IBK	Ca	20,69	24,14	55,17
DRIS		20,69	20,69	58,62
CND		3,45	68,97	27,59
IBK	Mg	17,24	31,03	51,72
DRIS		10,34	55,17	34,48
CND		3,45	72,41	24,14

Em que: EN- Estado nutricional; N- nitrogênio; P- fósforo; K- potássio; Mg- magnésio; Ca- cálcio; LF- Limitante por falta; NL- Não limitante e LF- limitante por excesso

Fonte: Autor (2019)

Na avaliação do estado nutricional para P empregando o método IBK, foi notado que 89,66% dos talhões foram agrupados como sendo não limitante (NL) e o restante dos talhões (10,34%) foram classificados como limitante por excesso (LE). Através do método DRIS, esses valores diferiram, pois 17,24% dos talhões foram enquadrados como limitante por falta (LF), 72,41% como sendo não limitante e 10,34% classificado como limitante por excesso (LE) desse nutriente. Esses resultados foram próximos aos apresentados no método CND, em que 6,90% dos talhões receberam a classificação de limitante por falta (LF), 89,66% na classe não limitantes (NL) e 3,45% dos talhões agrupados como limitante por excesso (LE).

Em relação ao K, foi observado através do método IBK que 34,48% dos talhões foram agrupados na classe de limitante por falta (LF), 62,07% na classe dos não limitantes e 3,45% dos talhões no grupo dos limitantes por excesso (LE). No método DRIS foi notado que 41,38% dos talhões de baixa produtividade encontraram-se na classe de limitante por falta (LF), 51,72% classificado como não limitante e o restante dos talhões (6,90%) como sendo limitante por excesso (LE). Para o método CND, 17,24% dos talhões foram classificados como limitante por falta (LF) e o restante (82,76%), encontrou-se na classe dos não limitantes (NL).

Para o Ca, no método IBK, apresentou 20,69% dos talhões agrupados como sendo limitante por falta (LF), 24,14% como não limitante (NL) e 55,17% dos talhões restantes classificados como limitante por excesso (LE). No método DRIS, foi notado que 20,69% dos talhões encontraram-se nas classes de limitante por falta (LF) e não limitante (NL) e 58,62% dos talhões restantes classificados como limitante por excesso (LE). Já no método CND, apenas 3,45% dos talhões estiveram na classe dos limitante por falta (LF), e a maioria dos talhões (68,97%) classificada como não limitante (NL) e uma parcela de 27,59% na classe dos limitantes por excesso (LE).

Em relação ao Mg, pelo método IBK, encontrou-se que a quantidade de 17,24% dos talhões estaria sendo limitado por falta (LF), e que 31,03% estariam na classe dos não limitante (NL) e 51,72% dos talhões foram classificados como limitante por excesso (LE). Pelo método DRIS, 10,34% dos talhões de baixa produtividade avaliados estariam sendo limitados por falta (LF), 55,17% dos talhões não possuíam limitação (NL) e que 34,48% estariam sendo limitados por excesso. A metodologia CND apresentou que apenas 3,45% dos talhões estariam sendo limitado por falta (LF) e que 72,41% foram classificados como não limitante (NL) e o restante (24,14%) dos talhões foram agrupados na classe do limitante por excesso (LE).

Na análise da concordância do estado nutricional entre os métodos trabalhados, verificou-se que na comparação entre IBK e DRIS os valores foram superiores a 70% para os nutrientes P, K, Ca e Mg, destacando o P, com semelhança de aproximadamente 90%, porém esses dois métodos apresentaram uma dissimilaridade de aproximadamente 62% para o N (Tabela 12).

Tabela 12- Frequência de talhões com diagnoses concordantes do estado nutricional (EN), determinadas pelos métodos IBK, DRIS e CND, em amostras de folhas dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden coletadas na Amazônia Oriental, na subpopulação de baixa produtividade, aos 24 meses de idade.

MÉTODO	EN	N	P	K	Ca	Mg	MÉDIA
IBK-DRIS		37,93	93,10	75,86	86,21	72,41	73,10
IBK-CND	%	82,76	82,76	79,31	48,28	51,72	68,97
DRIS-CND		48,28	75,86	62,07	51,72	62,07	60,00

Em que: EN- Estado nutricional; N- nitrogênio; P- fósforo; K- potássio; Mg- magnésio e Ca- cálcio
Fonte: Autor (2019)

A comparação entre os métodos IBK e CND apresentou similaridade acima de 79% para os nutrientes N, P e K, entretanto foi notado que o Ca e Mg para ambos os métodos tiveram similaridade próximos de 50%. Já a comparação entre os métodos DRIS e CND

apresentou uma frequência de concordância acima de 50% para o P, K, Ca e Mg, destoando disso o N com valores abaixo de 50%.

Para todos os métodos utilizados foi constatada concordância através do potencial de resposta à adubação, em que o nutriente mais limitante por falta foi o N, seguido de P e K. O resultado encontrado corroborou ao obtido por Urano *et al.* (2006), avaliando o estado nutricional da soja (*Glycinemax*), em que constataram deficiência tanto do P quanto do K. Ademais, a concordância ou maior grau de similaridade entre os métodos é comum em lavouras ou talhões que apresentam o balanço nutricional equilibrado, assumindo assim a eficiência dos métodos aplicados (KURIHARA, 2004; GOTT, 2013).

Resposta semelhante a apresentada no estudo foi obtida por Wadt *et al.* (1998), estudando os valores de macro e micronutrientes para a cultura do *Eucalyptus* sp. através do método DRIS e chance matemática (CHM). Esses autores verificaram que o K avaliado em diferentes compartimentos da planta apresentou teor deficiente. Wadt *et al.* (1999), pesquisando sobre variações no estado nutricional de *Eucalyptus* sp. por influência do material genético e da idade da árvore utilizando o método DRIS, notaram também a deficiência desses mesmos nutrientes, concluindo que o tipo de material genético afeta o estado nutricional das árvores para alguns nutrientes.

Conforme Scherer (1998), a limitação por falta de K e o excesso de Mg pode ser explicada pelo o antagonismo existente entre esses nutrientes, uma vez que o excesso de Mg pode reduzir a concentração de K na planta e nos sítios de troca nos coloides do solo.

2.7 Conclusão

Para as condições desse estudo pode-se concluir que:

Os plantios clonais avaliados apresentam baixos níveis de deficiência e excesso nutricional.

Os diferentes métodos apresentam grau de concordância na interpretação do estado nutricional do *Eucalyptus* sp.

A produtividade dos plantios clonais de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden., na Amazônia Oriental é afetada pela adubação potássica.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. F.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, M. C. F.; SOUZA JUNIOR, J. A. Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 6, n. 6, p.151-168, jun. 2010.
- 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, 2013.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Perfamon Press, Oxford, USA. 506 p. 1970.
- BANDEIRA, R. S.; DIAS, T. S. **Estado nutricional de plantios clonais de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake na mesorregião sudeste do estado do Pará**. 2016. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia florestal) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Paragominas - PA, 2016.
- BARROS, P. L. C. **Anotações de Inventário Florestal**. [n.i]. Belém, Pa: [s.n], 2008. 64 p.
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp, p.105-133. In: Gonçalves, J. L. M.; Benedetti (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. v.2. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2005.
- CANTARUTTI, R. B. *et al.* **Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes**. Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 769-850, 2007.
- CONSELHOS DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA (CIB). Guia do *Eucalyptus* sp.: oportunidades para um desenvolvimento sustentável. 2008. [S.I], 2008. 20 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo de *Eucalyptus* sp. em propriedades rurais: diversificação renda**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2014. 140 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema brasileiro de classificação de solos. ed. 5, **rev. e ampl.**, Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
- FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. 2002. 76 f. trabalho de conclusão de curso (Especialização em fertilidade do solo e nutrição de plantas no agronegócio) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2002.
- FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2005. 186 f. Curso de Pós-Graduação (Especialização-Solos e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2005.
- FERNANDES, L. V. **Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus* sp. utilizando o método de kenworthy, dris e cnd na mesorregião sudeste paraense**. 2010. 97 f. Dissertação (mestrado em solos e nutrição de plantas)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

GARCIA, M. B. **INAF: Software de interpretação de análise foliar**. 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado em ciência do solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2013.

GOTT, R. M. **Índices Diagnósticos Foliares para a Cultura do Milho no Alto Paranaíba, MG**. 2013. 80 f. Dissertação (Pós-Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, MG, 2013.

GOTT, R. M.; AQUINO, L. A.; CARVALHO, A. M. X.; SANTOS, L. P. D.; NUNES, P. H. M. P.; COELHO, B. S. Índices diagnósticos para a interpretação de análise foliar do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.18, n.11, p.1110–1115, 2014.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual 2017**. Disponível em: https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf. Acesso em: 16 mar. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=774>. Acesso em: 24 out. 2019.

JONES, C.A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analysis. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.12, p.785-794, 1981.

KHIARI, L.; PARENT, L.E. TREMBLAY, N. Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. **Agronomy Journal**, v.93, p.809-814, 2001.

KURIHARA, C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. 2004. 101 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, MG. 2004.

LANA, R.M.Q.; OLIVEIRA, S.A.; LANA, Â.M.Q.; FARIA, M.V. Levantamento do estado nutricional de plantas de *Coffea arabica* L. pelo DRIS, na região do Alto Paranaíba - Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1147-1156, 2010.

LETZSCH, W.S. Computer program for selection of norms for use in the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.16, p.339-347, 1985.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora agrônômica ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. 1997. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, SP, 319 p.

MATOS, G.S.B.; SILVA, G. R.; GAMA, M. A. P.; VALE, R. S.; ROCHA, J. E. C. Desenvolvimento inicial e estado nutricional de clones de *Eucalyptus* sp. no nordeste do estado do Pará. **Acta amazônica**. [s.i]. vol. 42, 4, 491 – 500, 2012.

MORAIS, T. C. B.; PRADO, R. M.; TRASPADINI, E. I. F.; WADT, P. G. S.; PAULA, R. C.; ROCHA, A. M. S.. Efficiency of the CL, DRIS and CND Methods in Assessing the Nutritional Status of *Eucalyptus* spp. Rooted Cuttings. **Forests**, v. 10, 786 p. 2019. DOI:10.3390/f10090786.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Diagnose Visual de Deficiências Nutricionais de Algodoeiro**. Circular Técnica 134. Campina Grande, PB. 2013.

NOVAIS, R. F.; ALVARES, V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. 1. Ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, 1017 p.

RAIJ, B. V. **Avaliação da Fertilidade do Solo**. Piracicaba: Instituto de Potassa e Fosfato, 1981. 142 p.

ROCHA, J. B. O. **Diagnose nutricional de plantios jovens de *Eucalyptus* sp. na região litorânea do Espírito Santo e Sul da Bahia**. 2008. 56p. Dissertação (Mestrado- Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2008.

SCHERER, E. E. Resposta da soja à adubação potássica em Latossolo Húmico distrófico num período de doze anos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.49-55, 1998.

SERRA, A.P.; MARCHETTI, M.E.; VITORINO, A.C.T.; NOVELINO, J.O.; CAMACHO, M.A. Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.97-104, 2010.

SILVA, G G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ, V. H.; LEITE, F. P. Avaliação da Universalidade das Normas DRIS, M-DRIS e CND. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:755-761, 2004.

SILVA, G. G. C. **Nutrição, crescimento e sua modelagem em resposta a disponibilidade de água e nutrientes**. 2006. 84p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2006.

SILVA, G. P. **Acurácia da diagnose da composição nutricional (CND) para diagnóstico de fósforo em cana-de-açúcar**. 2016. 76 f. Tese (Doutorado em Agronomia- Ciência do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2016.

SILVA, M. O. P; CORRÊA, G. F; COELHO, L; RABELO, P. G. **Avaliação de Dois Tratamento de Adubação em Plantio de *Eucalyptus* sp. Clonal em Solo Arenoso**. Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 212-222, Mar. 2012.

URANO, E. O. M. *et al.* Avaliação do estado nutricional da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.9, p.1421-1428. 2006.

WADT, P. G. S *et al.* Padrões nutricionais para lavouras arrozadeiras irrigadas por inundação pelos métodos da CND e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 145-156, 2013.

WADT, P. G. S *et al.* Variações no estado nutricional de *Eucalyptus* sp. por influência do material genético e da idade da árvore. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.10, p.1797-1803. 1999.

WADT, P. G. S. *et al.* Valores de referência para macronutrientes em *Eucalyptus* sp. obtidos pelos métodos DRIS e Chance Matemática. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 22, p. 685-692, 1998.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. H.V.; M . Alternativas de Aplicação do "DRIS" À Cultura De Café Conilon (*Coffea canephora* Pierre). **Sci. agric. [online]**. 1999, vol. 56, n.1, p.83-92. ISSN 1678-992X. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161999000100013>.

WADT, P.G.S. Avaliação nutricional de clones de *Eucalyptus grandis*, pelos métodos do Nível Crítico e do DRIS, em árvores de 1 e 5 anos de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 15-20, 2004.

WADT, P.G.S. **Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de *Eucalyptus* sp.** 1994. 123 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Viçosa, MG 1996.

3 MÁXIMO POTENCIAL PRODUTIVO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO

A quantidade de nutrientes dos povoamentos florestais é determinada pelo somatório de diferentes compartimentos das árvores. As diferentes concentrações de elementos químicos são encontradas em seus tecidos, indicando a quantidade e qualidade da adubação que pode ser realizada para suprir a exportação de nutrientes pela colheita florestal. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o estado nutricional de um plantio clonal de *Eucalyptus brassiana* X *Eucalyptus grandis* na Amazônia Oriental. Foram selecionadas e cubadas nove árvores divididas em três classes de circunferência à altura do peito (Classe I - 17 a 28,5 cm, Classe II - 28,6 a 40,2 cm e Classe III - 40,3 a 52 cm). Posteriormente, foi realizada a cubagem dos indivíduos para determinação do volume real da árvore através do método de Smalian. Uma amostra de 250g do fuste foi retirada, da casca ao longo do tronco, dos galhos secos e verdes e das folhas. Em seguida, procedeu-se com a pesagem de todos os compartimentos. Observou-se um ganho de biomassa de 5,5 vezes a mais quando comparada a classe III com a classe I. Na copa não houve diferença significativa para nenhum nutriente avaliado, porém, no tronco, com exceção de S, Fe e Mn, houve efeito significativo ($p < 0,05$) para os demais nutrientes. Na relação dos nutrientes com o tronco, o K se destacou por apresentar uma quantidade elevada em relação aos outros nutrientes, sendo a maior quantidade encontrada na Classe III e a menor quantidade na Classe I. Percebeu-se também que as partes da planta que mais assimilaram nutrientes em todas as classes estudadas, foram o tronco e a casca. Não houve diferença significativa para as concentrações foliares. Para a eficiência de utilização de nutrientes, o único resultado significativo foi encontrado para o Ca, sendo que suas maiores concentrações foram encontradas na classe I. No geral, os teores foliares não foram suficientes para observação das diferenças na produção de biomassa do IMA nas três classes de produtividade. Portanto, esses teores não servem para serem utilizados como padrões nutricionais do híbrido *E. brassiana* x *E. grandis*. Em termos gerais, quanto mais nutrientes forem adicionados ao sistema solo x planta, maior será a produtividade da floresta, entretanto, deve-se tomar cuidado com a aplicação do boro, pois este apresentou sensibilidade entre o máximo potencial produtivo com a faixa de fitotoxidez.

Palavras-chave: Biomassa; Eficiência de utilização de nutrientes; Reflorestamento; Teor nutricional.

**MAXIMUM PRODUCTIVE POTENTIAL AND NUTRITIONAL EFFICIENCY OF
Eucalyptus brassiana S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden IN THE
EASTERN AMAZON**

ABSTRACT

The amount of nutrients in forest stands is determined by the sum of different compartments of the trees. The different concentrations of chemical elements are found in their tissues, indicating the quantity and quality of the fertilization that can be carried out to supply the export of nutrients through the forest harvest. Thus, the objective of this work was to evaluate the nutritional status of a clonal plantation of *Eucalyptus brassiana* X *Eucalyptus grandis* in the Eastern Amazon. Nine trees were selected and cubed, divided into three classes of circumference at breast height (Class I - 17 to 28.5 cm, Class II - 28.6 to 40.2 cm and Class III - 40.3 to 52 cm). Subsequently, the individuals were cubed to determine the real volume of the tree using the Smalian method. A 250g sample of the stem was taken from the bark along the trunk, from dry and green branches and leaves. Then, all the compartments were weighed. A biomass gain of 5.5 times was observed when class III was compared to class I. In the crown there was no significant difference for any nutrient evaluated, however, in the trunk, with the exception of S, Fe and Mn, there was significant effect ($p < 0.05$) for the other nutrients. In the relation of nutrients with the trunk, K stood out for presenting a high amount in relation to the other nutrients, being the highest amount found in Class III and the lowest amount in Class I. It was also noticed that the parts of the plant that most they assimilated nutrients in all the studied classes, they were the trunk and the bark. There was no significant difference for leaf concentrations. For the efficiency of nutrient use, the only significant result was found for Ca, and its highest concentrations were found in class I. In general, the leaf contents were not sufficient to observe the differences in the biomass production of IMA in the three productivity classes. Therefore, these levels are not intended to be used as nutritional standards for the hybrid *E. brassiana* x *E. grandis*. In general terms, the more nutrients are added to the soil x plant system, the higher the forest productivity will be, however, care must be taken with the application of boron, as it showed sensitivity between the maximum productive potential with the phytotoxicity range.

Key words: Biomass; Nutrient use efficiency; Nutritional content; Reforestation.

3.4 Introdução

O Brasil é um país com destaque no cenário internacional quando se refere ao setor de florestas plantadas, sendo um dos principais responsáveis pela produção mundial de celulose, e o oitavo nos segmentos de produtos processados com papel e painéis de madeira reconstituída (CNI, 2017). O setor florestal também possuiu contribuição significativa para economia nacional no ano de 2018, sendo responsável por 1,3% do Produto Interno Bruto (PIB) e 6,9% do PIB industrial em 2018, se destacando em relação à indústria e a agropecuária (IBÁ, 2019). Além disso, os plantios florestais são reconhecidos internacionalmente pelos investimentos contínuos em pesquisas para melhoria da produtividade de suas florestas, elevando o índice de aproveitamento de suas áreas de plantio (CNI, 2017).

Diante desses investimentos, em 2018, o país alcançou a marca de 7,83 milhões de hectares de floresta plantadas. Desse total, 72% são ocupados por plantios de *Eucalyptus* sp., 20% por áreas contendo pinus e, aproximadamente, 8% com outras espécies de menor expressão comercial, entre elas seringueira, acácia, teca e paricá (IBÁ, 2019).

O uso massivo de espécies do gênero *Eucalyptus* se intensificou após as descobertas de adaptabilidade às diferentes condições bioedafoclimáticas, também pela plasticidade das propriedades físicas e químicas da madeira. Essas espécies podem ser aproveitadas em vários segmentos, desde o setor energético (lenha, carvão vegetal e outras biomassas), construção civil (estacas, moirões, dormentes e pisos), além da parte industrial (extração de celulose, fabricação de papel, chapas de fibras, de partículas) e na movelaria. Mais recentemente, algumas espécies vêm sendo empregadas na composição de produtos farmacêuticos como medicamentos (SILVEIRA *et al.*, 2005; ABRAF, 2013; EMBRAPA, 2014).

Através do crescimento da cadeia produtiva centrada em florestas plantadas, houve a necessidade de inserção de novas áreas. Algumas regiões surgiram como alternativa, como, por exemplo, o Estado do Pará, pioneiro em reflorestamento com paricá e *Eucalyptus* sp. Esse novo modelo vem sendo tratado também como uma alternativa a exploração das florestas nativas (IBÁ, 2016).

Mais recentemente na mesorregião sudeste do Estado do Pará, a atividade de florestas plantadas está em fase de expansão, destacando-se os municípios de Paragominas, Dom Eliseu e Ulianópolis, sobretudo por espécies do gênero *Eucalyptus* (IMAZON, 2010; SEMAS, 2016).

No município de Paragominas, essa atividade surgiu como alternativa para recomposição de Reserva Legal em algumas propriedades e como uma atividade econômica de base florestal indicada para áreas totalmente desprovidas de vegetação florestal, correspondendo a uma área de 40 mil hectares de floresta plantada. Isso ocorreu por meio de iniciativas individuais de grandes projetos de reflorestamento. Dentro dessas regiões, algumas empresas se destacam como grupo Concrem, Suzano Papel e Celulose e TFA (IMAZON, 2010).

Em um ecossistema florestal, a quantidade de nutrientes na biomassa aérea é determinada pelo somatório de diferentes compartimentos das árvores (folhas, casca, ramos e lenho) tanto para espécies nativas quanto para exóticas (POGGIANI *et al.*, 1998). Cada compartimento de uma árvore possui diferentes concentrações de elementos químicos em seus tecidos, auxiliando na indicação da quantidade e qualidade da adubação de reposição a ser realizada para a próxima rotação com o propósito de diminuir o impacto da exportação de nutrientes pela colheita florestal (POGGIANI *et al.*, 1998).

A avaliação nutricional de plantios comerciais de *Eucalyptus* sp. normalmente é realizada durante o ciclo vegetativo das árvores, com o objetivo de conhecer os nutrientes que estão em níveis deficientes e, dessa forma, propor adubações corretivas visando tanto à manutenção quanto o aumento da produtividade (BELLOTE; SILVA, 2000).

Em razão do baixo nível tecnológico empregado na silvicultura de plantios comerciais de *Eucalyptus* sp. localizados na mesorregião sudeste do Estado do Pará, as pesquisas voltadas para a avaliação do estado nutricional das espécies desse gênero são raras. Assim, as aplicações de novas técnicas são necessárias para obtenção de diagnósticos nutricionais nos plantios, de modo a descobrir combinações específicas de teores de nutrientes para a obtenção de produtividade elevada.

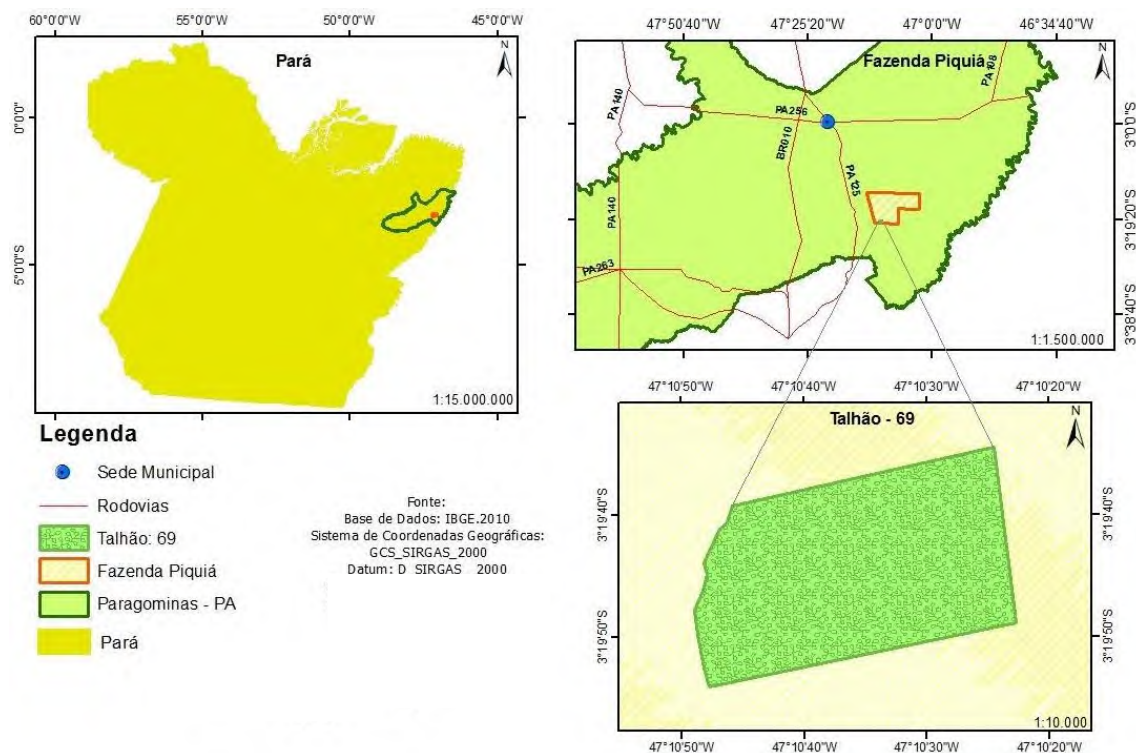
Assim, esse experimento buscou elucidar a seguinte questão científica: Quais os níveis de nutrientes proporcionariam a máxima produtividade de plantios de *Eucalyptus brassiana* X *Eucalyptus grandis* na Amazônia Oriental? Para tanto, testou-se a seguinte hipótese: A biomassa e compartimentalização de nutrientes podem estimar o máximo potencial produtivo de nutrientes em *E. brassiana* x *E. grandis*. Portanto, o experimento teve como objetivo estimar o máximo potencial produtivo a partir dos nutrientes contidos nos compartimentos das árvores de *E. brassiana* X *E. grandis*.

3.5 Material e métodos

3.5.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida na fazenda Piquiá, ($47^{\circ}08'02,68''$ de latitude Sul e $03^{\circ}16'01,54''$ de longitude Oeste) pertencente ao grupo Transporte Florestal Araguaia (TFA), situada às margens da rodovia PA-125, distante 42 km do município de Paragominas, PA (Figura 4).

Figura 4 - Mapa de localização da unidade experimental, Fazenda Piquiá, Município de Paragominas, PA, Amazônia Oriental.



Fonte: Autor (2016).

Um fragmento de aproximadamente 33,7 hectares foi selecionado, possuindo plantio comercial do híbrido de *E. brassiana* x *E. grandis*, com a idade de 2,5 anos em espaçamento 3 x 3 m entre as plantas. O fragmento possui um aspecto homogêneo de paisagem, com solo classificado sendo do tipo Latossolo Amarelo Distrófico, de textura muito arenosa (EMBRAPA, 2018).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é definido como sendo do tipo Aw, com precipitação média anual de 1.800 mm e temperatura média durante o ano de aproximadamente 26 °C (BASTOS *et al.*, 2005; ALVARES *et al.*, 2013).

No histórico de plantio de *Eucalyptus* sp. ocorria naturalmente o com predomínio de *Brachiaria humidicola*. Posteriormente, o solo foi preparado com a realização da operação de gradagem, subsolagem com aplicação de 300 kg ha⁻¹ de NPK 10-27-10 no fundo, 165 kg ha⁻¹ da mesma formulação nas coberturas laterais e ainda, 750 kg ha⁻¹ de NPK 15-00-20 dividido em três operações subsequentes.

3.5.2 Coleta de dados dendrométricos

Três indivíduos por classe distribuídos entre o menor (≥ 17) e o maior (≤ 52) diâmetro existentes no talhão de 33,7 ha foram selecionados de forma aleatória, perfazendo um total de nove indivíduos. Após a escolha dos indivíduos, cada um deles foi dividido em três classes de circunferências medidas a 1,30 m do solo: Classe I- 17 a 28,5 cm, Classe II- 28,6 a 40,2 cm e Classe III- 40,3 a 52 cm.

Dessa maneira, para o maior aproveitamento de biomassa, com auxílio de um motosserra, as árvores foram derrubadas com o corte rente ao solo (Figura 5A). Em seguida, foram medidas as alturas totais e realizada a cubagem rigorosa pelo método de Smallian (Figura 5B e 5C) (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003).

Com auxílio de uma fita centimétrica foram medidas as circunferências das seções dos fustes nas alturas a 0,30 m, 0,50 m, 0,70 m, 1,00 m, 2,00 m e, assim, de dois em dois metros até atingir a altura total das árvores.

Figura 5 - Colheita (A), cubagem (B) e seccionamento das árvores (C) realizados na área de estudo, Amazônia Oriental.



Fonte: Autor (2016).

Para o cálculo do volume do fuste sem casca foi utilizado o método de Smalian, no qual o volume é calculado por meio da função entre o produto da média aritmética obtida dos extremos das áreas seccionais pelo comprimento da seção (Equação 12).

$$V = \Sigma \left(\frac{g_i + (g_{i+1})}{2} \right) \cdot L \quad (12)$$

Em que:

V - Volume (m³)

g_i e g_{i+1} - área seccional obtida nas extremidades das seções (cm).

L - Comprimento da seção (m).

A produtividade volumétrica expressa no incremento médio anual (IMA_{vol}) foi obtida conforme a Equação 13.

$$\text{IMA}_{\text{vol}} = (\text{Volume}_i \times n_i) / \text{Idade} \quad (13)$$

Em que:

IMA_{vol} - incremento médio anual; m³ ha⁻¹ ano⁻¹

Volume i - Volume da madeira por m³;

n_i - número de árvores por hectare;

Idade - idade do plantio

3.5.3 Coleta de dados dos compartimentos acima do solo

Em relação à determinação da biomassa úmida das árvores, o método destrutivo de quantificação de biomassa foi utilizado, onde as árvores são separadas por compartimento para viabilizar essa quantificação (ALVES, 2007; SOUZA; FIORENTIN, 2013).

Todos os compartimentos foram pesados com auxílio de uma balança digital de gancho com precisão de 0,01 kg. Em seguida, coletadas as amostras de aproximadamente 250 g dos compartimentos.

Após a derruba das árvores, procedeu-se a desfolha e acondicionamento em lona plástica para pesagem (Figura 6A). Depois de desfolhada, cada árvore amostral foi desganhada e seus galhos separados e pesados em duas categorias: galhos verdes e galhos secos. Após a cubagem rigorosa de cada árvore, o fuste foi descascado e as cascas pesadas. O tronco foi seccionado em toretes e pesado (Figura 6B e 6C).

Figura 6 - Coleta de amostras dos compartimentos acima do solo de árvores de *Eucalyptus*, Amazônia Oriental.

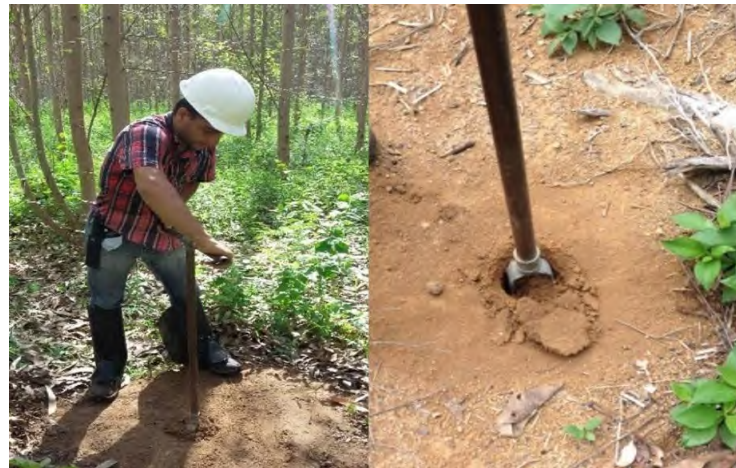


Fonte: Autor (2016).

3.5.4 Amostragem e fertilidade do solo

Foi realizada a amostragem do solo com auxílio de um trado holandês nas entre linhas do plantio, com a intensidade de 20 amostras simples para a formação de uma amostra composta, totalizando 15 amostras de solos nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (Figura 7).

Figura 7 - Procedimento de coleta das amostras do solo, Fazenda Piquiá, Paragominas-PA, Amazônia Oriental.



Fonte: Autor (2016).

Após a coleta, as amostras foram enviadas ao laboratório para quantificar o teor de nutriente no local, seguindo a metodologia da Embrapa (EMBRAPA, 2017), a saber:

- Ca e Mg: extraídos utilizando a solução de KCl /1 mol. L⁻¹ e determinado por titulometria com EDTA 0,0125 mol. L⁻¹.
- Al trocável: utilizou-se a solução de KCl /1 mol. L⁻¹ e analisado por titulometria com

NaOH 0,025 mol L⁻¹.

- P e K trocáveis: verificados com a solução extratora de Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), utilizando para os quais colorimetria e fotômetro de chamas, respectivamente.
- Acidez potencial (H+Al): através da extração obtida com CH₃COO₂Ca 0,5 mol L⁻¹ e mensurados por titulometria com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹.
- pH H₂O: utilizada a proporção de 1: 2,5(solo: água).

Para a interpretação dos níveis de nutrientes obtidos após a análise no talhão, utilizou-se como parâmetro os valores dos atributos químicos do solo, de acordo com a classificação apresentado por Silveira *et al.* (1999) (Tabela 13).

Tabela 13 - Classificação dos parâmetros químicos do solo em níveis baixos, médios e altos.

PARÂMETRO	UNIDADE	NÍVEL		
		BAIXO	MÉDIO	ALTO
K		<1	1 – 1,5	>1,5
Mg	mmolc/dm ³	<2,5	2,5 – 4	>4
Ca		<8	8 – 12	>12
P		<5	5 – 8	>8
B		<0,2	0,2 – 0,4	>0,4
Cu	mg/dm ³	<0,3	0,3 – 0,5	>0,5
Fe		<15	15 – 25	>25
Mn		<0,5	0,5 – 5	>5
Zn		<0,25	0,25 – 0,5	>0,5

Em que: P- Fósforo; K- Potássio; Ca- Cálcio; Mg- Magnésio; B- Boro; Cu- Cobre; Zn-Zinco; Fe-Ferro; e Mn-Manganês

Fonte: Adaptada de Silveira *et al.* (1999).

3.5.5 Eficiência de utilização de nutrientes

O cálculo da eficiência de utilização dos nutrientes (EUN) foi obtido conforme a equação de Bailian *et al.* (1991) (Equação 14).

$$EUN = \frac{CNA}{MS} \quad (14)$$

Em que:

CNA - Conteúdo de nutrientes acumulado em kg

MS - Biomassa seca em mg.

Para o cálculo da biomassa seca foi utilizado o método proposto por Soares *et al.* (2010) (Equação 15).

$$BS = \frac{PV_{\text{campo}} \times PS_{\text{amostra}}}{PV_{\text{amostra}}} \quad (15)$$

Em que:

BS - Biomassa Seca

PV_{campo} - Peso verde

PS_{amostra} - Peso seco

Visando a definição das estimativas do máximo potencial produtivo para cada nutriente, buscou-se determinar o ponto máximo da equação de regressão pela derivada da sua função igualando a mesma à zero. Para os nutrientes que tiveram o comportamento linear foram considerados como sendo o máximo potencial produtivo, para as condições desse estudo, obtendo o conteúdo em kg ha⁻¹ da árvore com maior produção volumétrica.

3.5.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para teste de normalidade, as variáveis que não apresentaram a distribuição normal foram normalizadas pela sua respectiva logaritimização. Em seguida, a análise de variância (ANAVA) foi aplicada e o teste Student-Newman-Keuls (SNK) para a comparação múltipla das médias que apresentaram diferença significativa. Para as análises de regressão foram utilizados modelos lineares ou linearizados, através do método dos mínimos quadrados ordinários e aplicado o teste de significância para todas as regressões. Todas as análises foram realizadas a 5% de probabilidade no *Software Statistica trial* 13.0 (2020).

3.6 Resultados e discussão

3.6.1 Biomassa e produtividade

Os valores de produtividade volumétrica e a produção de biomassa para as classes alta (I), média (II) e baixa produtividade (III) apresentaram diferenças entre si, é possível observar um ganho em produtividade e biomassa de 5 vezes a mais na classe III quando comparada com a classe I e 2 vezes maior quando feito a mesma comparação entre a classe III para a classe II. (Tabela 14).

Tabela 14- Produtividade e produção de biomassa da parte aérea de híbridos *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*, em cultivo comercial na Amazônia Oriental.

DAP	CLASSE	IMA _{vol} (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	BIOMASSA (mg ha ⁻¹)
17,0 - 28,5	I	9,92	17,19
28,6 - 40,2	II	24,49	38,70
40,3 - 50,2	III	54,98	86,31

Em que: Classe I - Menor produtividade; Classe II - Média produtividade; Classe III - Maior produtividade; IMA_{vol} - Incremento médio anual em volume.

Fonte: Autor (2016).

Esses resultados diferem dos encontrados por Zaia e Gama-Rodrigues (2004), que ao trabalharem com ciclagem de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus* sp., plantados no espaçamento 3 x 2 m com 6 anos de idade, verificaram que a produção de biomassa variou de 47,54 a 71,92 Mg ha⁻¹, sendo inferiores aos encontrados na classe de maior produtividade volumétrica (Classe III), o que reforça o alto potencial do material genético utilizado no estudo.

3.6.2 Teor e conteúdo de nutrientes

Na Tabela 15 são apresentados os valores dos atributos químicos do solo e o status de cada elemento de acordo com a classificação de Silveira *et al.* (1999) (Tabela 13). Os valores variaram de médio a alto para os macronutrientes, com exceção do Mg que apresentou baixos teores nas duas profundidades avaliadas. Já para os micronutrientes, com exceção do B, os valores foram.

Tabela 15 - Atributos químicos do solo da área experimental, Fazenda Piquiá, município de Paragominas-PA, Amazônia Oriental.

Profundidade	P	K	S	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg dm ³			cmolc dm ³	mg dm ³				
0-20 cm	10,70	8,90	1,50	0,90	0,20	0,10	0,50	269,40	15,50	0,90
Status	Alto	Baixo	-	Médio	Baixo	Baixo	Médio	Alto	Alto	Alto
20-40 cm	6,60	7,60	1,70	0,50	0,10	0,20	0,40	225,70	7,70	0,50
Status	Médio	Baixo	-	Baixo	Baixo	Médio	Médio	Alto	Alto	Alto

Em que: N- Nitrogênio; P- Fósforo; K- Potássio; Ca- Cálcio; Mg- Magnésio; S- Enxofre; B- Boro; Cu- Cobre; Zn-Zinco

Fonte: Autor (2016).

Com relação a copa (galho verde, galho seco e folha), não houve diferença significativa para nenhum nutriente avaliado. Porém, no tronco (tronco + Casca), com exceção de S, Fe e Mn, houve efeito significativo ($p < 0,05$) para os demais nutrientes (Tabela 16).

Entre os nutrientes assimilados nas três classes estudadas quanto à copa, destacam-se o N e o K, que apresentaram valores equivalentes a 36,55 e 30,73 kg ha⁻¹ na Classe III, respectivamente. Já a Classe I foi a que menos acumulou o N e o K, com valores iguais a 11,89 a 11,75 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 16). Esses valores foram inferiores aos encontrados por Zaia e Gama-Rodrigues (2004), que observaram acúmulo desse nutriente na copa de árvores de *Eucalyptus* sp. variando entre 49,9 e 31,86 kg ha⁻¹, respectivamente para N e K.

Tabela 16 - Teste de comparação múltipla de médias pelo teste SNK da nutrição e classificação de nutrientes na parte aérea de híbridos de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden aos 2,5 de idade, na Amazônia Oriental.

CLASSES	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu
	kg ha ⁻¹										
COPA											
I	11,89 (ns)	4,96 (ns)	11,75 (ns)	26,38(ns)	4,86(ns)	1,75 (ns)	0,05 (ns)	0,07 (ns)	0,10 (ns)	0,67 (ns)	0,03 (ns)
II	15,02 (ns)	2,34 (ns)	15,51 (ns)	15,26 (ns)	3,68 (ns)	1,45 (ns)	0,07 (ns)	0,07 (ns)	0,11 (ns)	1,24 (ns)	0,02 (ns)
III	36,55 (ns)	5,67 (ns)	30,73(ns)	34,86 (ns)	8,31(ns)	3,57 (ns)	0,13 (ns)	0,12 (ns)	0,16 (ns)	1,98 (ns)	0,05 (ns)
TRONCO											
I	29,11 (b)	5,33 (b)	53,46 (b)	41,18 (b)	5,57 (b)	4,83 (ns)	0,09 (ns)	0,54 (b)	0,65 (ns)	0,70 (ns)	0,08 (b)
II	38,25 (b)	8,43 (ab)	127,6 (ab)	61,15 (ab)	14,14 (b)	6,69 (ns)	0,85 (ns)	0,65 (b)	1,17 (ns)	2,53 (ns)	0,17 (b)
III	126,56(a)	20,90 (a)	273,75(a)	127,79 (a)	27,64 (a)	12,14 (ns)	0,35 (ns)	1,29(a)	2,65 (ns)	3,45 (ns)	0,42 (a)
TOTAL											
I	41,00 (b)	10,28 (ns)	65,21 (b)	67,55 (b)	10,43 (b)	6,58 (ns)	0,14 (ns)	0,61 (b)	0,75 (ns)	1,37 (ns)	0,11 (b)
II	53,27 (b)	10,77 (ns)	143,20 (ab)	76,41 (b)	17,82 (ab)	8,15 (ns)	0,93 (ns)	0,72 (a)	1,28 (ns)	3,78 (ns)	0,20 (b)
III	163,11 (a)	26,57 (ns)	304,48 (a)	162,66 (a)	35,95 (a)	15,71 (ns)	0,48 (ns)	1,41(a)	2,81(ns)	5,42 (ns)	0,47 (a)

Em que: Classe I - Menor diâmetro, Classe II – Diâmetro médio e Classe III - Maior diâmetro; ns - não significativo. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, em cada compartimento da planta não diferem entre si pelo Teste SNK ($p < 0,05$).

No tronco foi observado à existência de diferença significativa para a maioria dos nutrientes, exceção para S, B, Fe e Mn. Em geral, a classe que se destacou em relação à quantidade de nutrientes assimilados foi a Classe III, uma vez que partes dos nutrientes assimilados são agregadas e incorporadas à biomassa.

Em relação aos nutrientes acumulados no tronco, o K destaca-se por apresentar uma quantidade elevada em relação aos outros nutrientes, sendo a maior quantidade encontrada na Classe III e a menor quantidade na Classe I, com valores de 273,75 e 53,46 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 16).

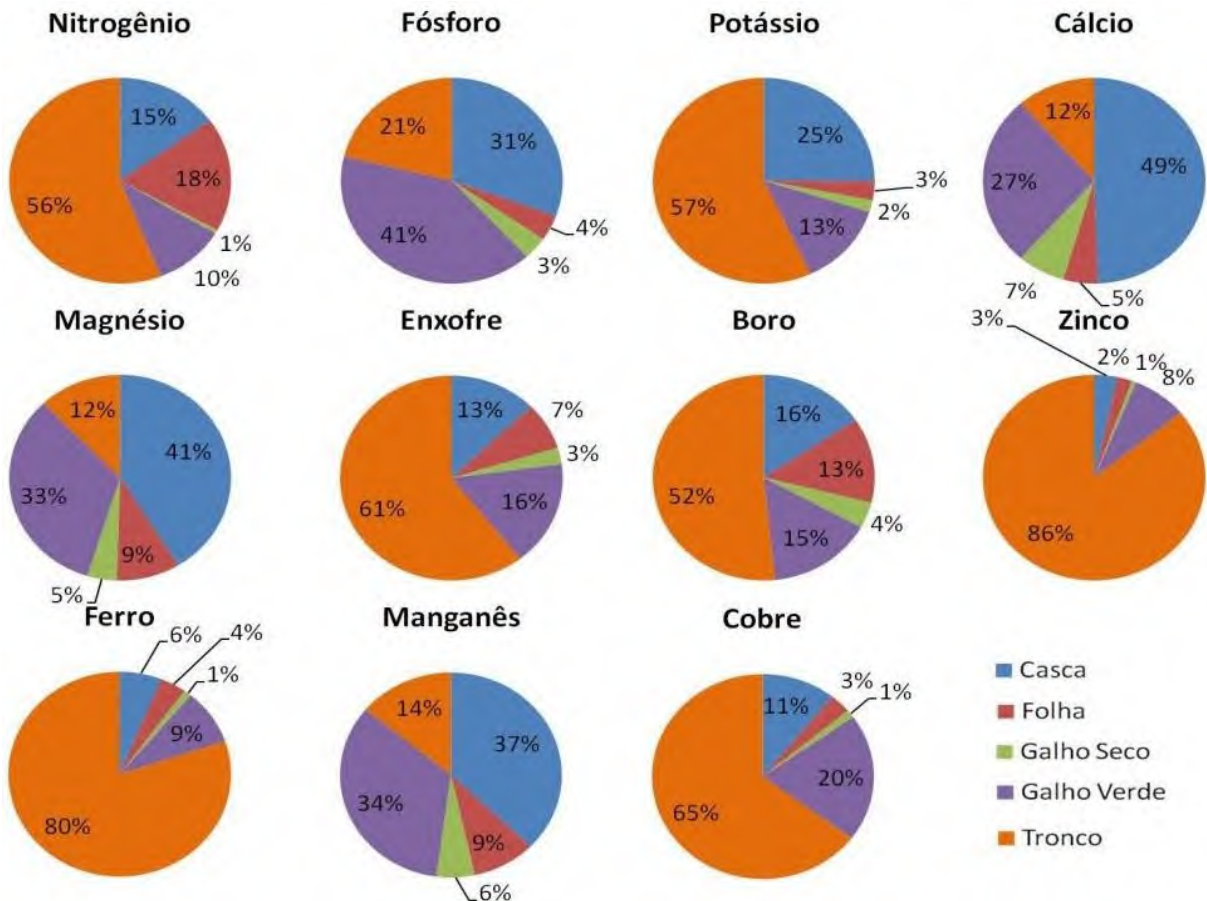
Santana 1999), evidenciaram a estreita relação que existe entre produção de biomassa e o conteúdo de nutrientes que as árvores assimilam. Schumacher *et al.* (1999), em seu estudo com três espécies de *Eucalyptus* sp. plantadas em Anhembi (SP) verificaram um aumento significativo de biomassa, com acúmulo médio de 73% dos nutrientes, dessa maneira, a fisiologia do crescimento das árvores e a relação destas com a disponibilidade de nutrientes evidenciam a quantidade do nutriente que é absorvida pela cultura durante seu ciclo vegetativo e a sua dinâmica com a matriz do solo. Considerando a biomassa total aos dois anos e meio de idade os clones estudados apresentaram a seguinte ordem de extração de nutrientes: K > N > Ca > Mg > P > S > Mn > Fe > Zn > B > Cu. Essa sequência demonstra a importância do K no processo inicial de crescimento da árvore, com a maior atividade do meristema secundário que é o tecido encontrado em todas as plantas, constituído de células indiferenciadas (SANTANA *et al.*, 1999). A hierarquia encontrada no estudo difere daquela encontrada por Vieira *et al.* (2012), que ao estudarem o acúmulo de biomassa em clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* com idade de 18 meses, observando a seguinte ordem Ca > N > Mg > K > P > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu (kg ha⁻¹). A diferença entre os estudos pode ser atribuída características como idade de referência, ao sítio ou local em geral e as metodologias empregadas.

Para a avaliação do estado nutricional também é relevante que seja levado em consideração a estabilidade dinâmica entre o sistema solo × planta. Com isso, a análise química do solo é, certamente, a ferramenta mais eficiente e segura que os técnicos e os produtores dispõem para a avaliação da capacidade do solo em fornecer nutrientes às plantas (FAQUIN, 2002).

Quando avaliado o conteúdo de nutriente na árvore como um todo, é possível observar diferenças em relação às outras classes, sendo que na Classe I a assimilação das folhas foi maior quando comparadas às outras classes, levando em destaque para o N que foi o nutriente mais assimilado com 18% do total (Figura 8). A maior quantidade de N na fase inicial do

desenvolvimento da planta tem como objetivo aumentar a área foliar, proporcionando uma maior atividade fotossintética (SILVEIRA; HIGASHI, 2003).

Figura 8 - Concentração de nutrientes acumulados na casca, folhas, galhos verdes, galhos secos e no tronco, na Classe I.



Fonte: Autor (2016)

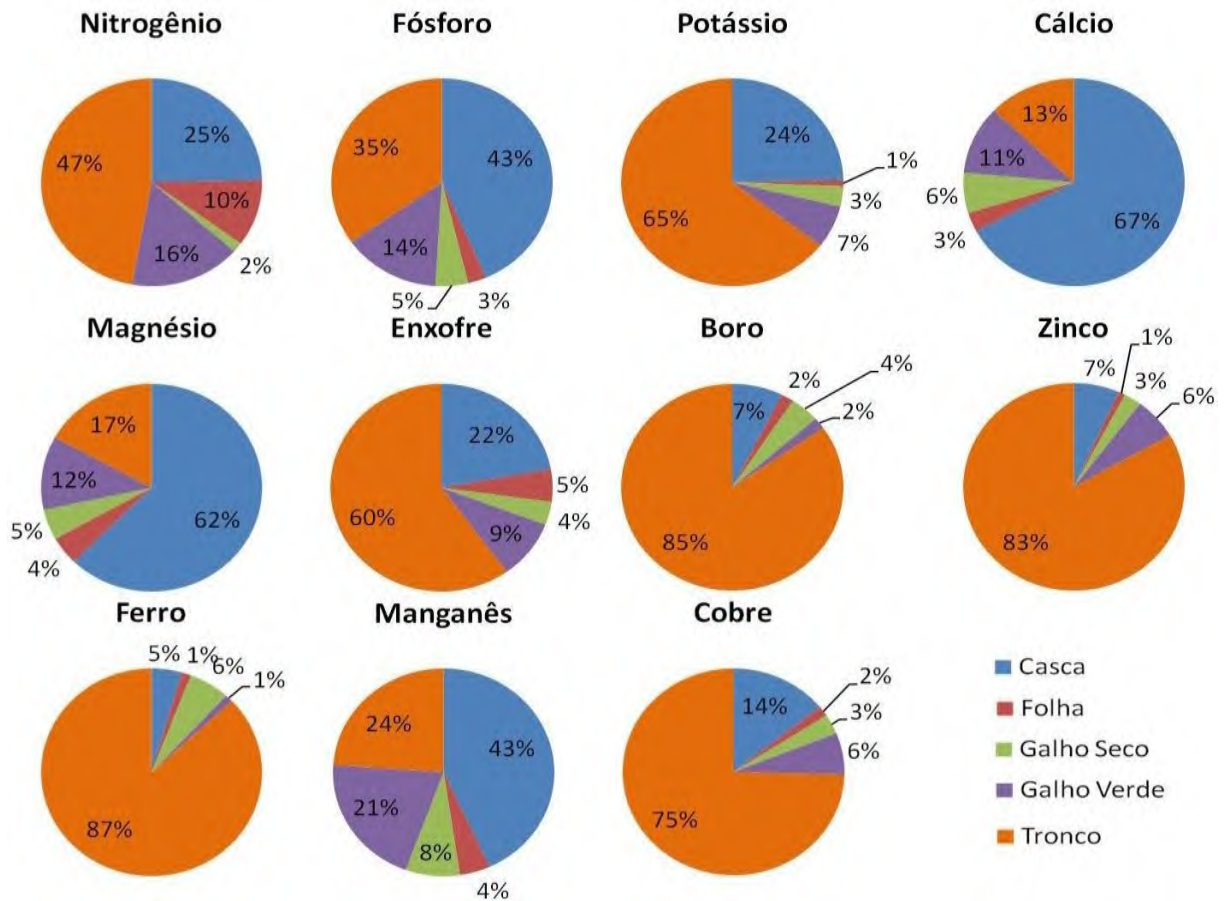
Segundo Smethurst *et al.* (2003), isso pode ter ocorrido devido o *Eucalyptus* spp. ser uma espécie que responde rapidamente à fertilização, particularmente com N, aumentando assim a área foliar e, conseqüentemente, o volume de tronco.

Para Malavolta *et al.* (1974), de maneira geral, as concentrações dos nutrientes na copa inteira são mais baixas em relação aos teores de nutrientes usualmente encontrados apenas nas folhas. Portanto, apenas os teores foliares são pouco precisos para a padronização do estado nutricional de uma árvore por inteiro.

Nas Classes II e III, as partes da planta que mais assimilaram nutrientes foram o tronco e a casca (Figura 9 e 10). Os resultados da concentração de N, P e K são diferentes aos observados por Schumacher *et al.* (1999), onde verificaram que as maiores concentrações desses nutrientes foram encontradas nas folhas. Porém, os mesmos autores encontraram

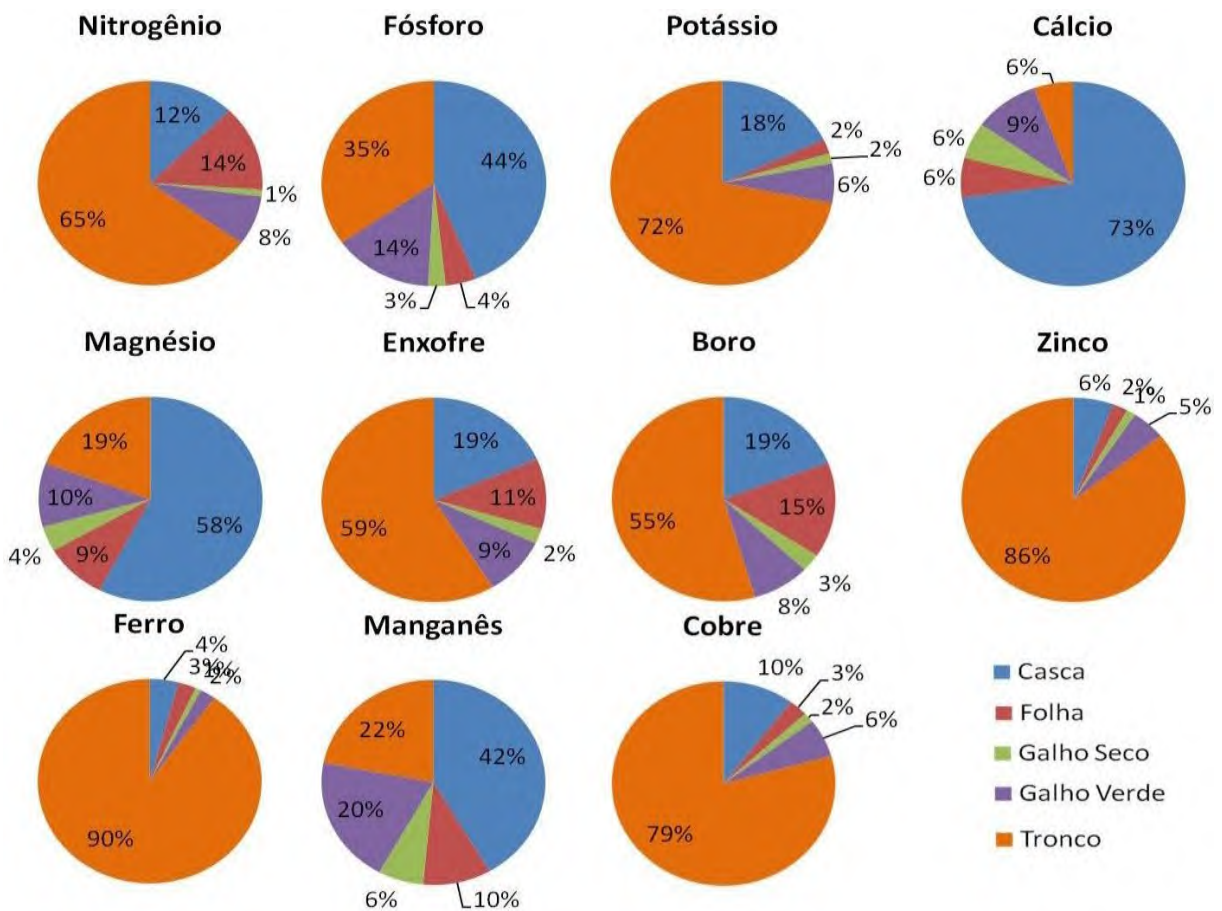
resultados similares para Ca e Mg, com maiores concentrações na casca. É importante ressaltar que Ca e Mg, por serem nutrientes de baixa mobilidade no solo e na planta, a suplementação deve ser realizada nas fases iniciais do plantio para suprir a necessidade da mesma.

Figura 9 - Concentração de nutrientes acumulados na casca, folhas, galhos verdes, galhos secos e no tronco, determinados para a Classe II.



Fonte: Autor (2016).

Figura 10 - Concentração de nutrientes acumulados na casca, folhas, galhos verdes, galhos secos e no tronco, determinados para a Classe III.



Fonte: Autor (2016).

O nutriente que foi mais absorvido pelo tronco foi o ferro Fe, com 90% na classe III. Os nutrientes que a casca mais assimilou foram o Ca e Mg com 73% e 58%, respectivamente, na classe III (Figura 10). Segundo Alexandre *et al.* (2012), tal fato pode ser razão do ferro ser um micronutriente essencial para a manutenção da planta, porém está pouco disponível na maioria dos solos.

Desta forma, a presença do P pode impactar na disponibilidade de Fe para as plantas, e isso se deve, principalmente, ao fato de que para ser absorvido precisa passar por uma redução de Fe^{3+} para Fe^{2+} . O Fe possui diversas funções, como ativador ou componente de enzimas que influencia na fixação do N, catalisador na biossíntese da clorofila e também atua no desenvolvimento de troncos e raízes (BR GLOBAL, 2010).

Não foi constatada a existência de diferença significativa para as concentrações foliares (Tabela 17). O teste SNK aplicado, indicou que a análise isolada dos teores foliares médios não devem ser utilizados como valores de referência para florestas de alta, média e baixa produtividade, no âmbito do seu monitoramento nutricional, uma vez que, as diferenças

entre os padrões nutricionais são muito pequenas, quando comparados entre as classes de produtividade.

Tabela 17 - Teores foliares de nutrientes em plantios de híbridos de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden aos 2,5 anos de idade, na Amazônia Oriental.

Classe	Concentrações Foliares					
	Macronutrientes (g kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
I	24,73(ns)	1,30(ns)	6,37(ns)	12,13(ns)	3,00(ns)	1,63(ns)
II	22,90(ns)	1,17(ns)	5,80(ns)	9,30(ns)	3,20(ns)	1,67(ns)
III	18,27(ns)	1,00(ns)	5,77(ns)	8,83(ns)	2,80(ns)	1,47(ns)
Classe	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)					
	B	Zn	Fe	Mn	Cu	-
	I	61,00(ns)	36,33(ns)	88,67(ns)	419,33(ns)	10,33(ns)
II	65,67(ns)	28,67(ns)	71,00(ns)	645,67(ns)	12,67(ns)	-
III	62,33(ns)	25,67(ns)	62,33(ns)	453,67(ns)	10,33(ns)	-

Em que: Classe I – Baixa produtividade, Classe II – Média produtividade e Classe III – Alta produtividade. ns - não significativo.

Fonte: Autor (2016)

Isso demonstra a importância existente ao se analisar a biomassa por meio de conteúdo nutricional existente na planta e não somente os teores foliares, uma vez que os resultados podem gerar erros quando comparados com as outras partes da planta, como foi mostrado anteriormente. Em outros trabalhos encontrados na literatura, também é possível observar que o teor de um nutriente pode interferir na interpretação de outro nutriente, sendo caracterizada como uma desvantagem para esta metodologia (SOLTANPOUR *et al.*, 1995; BALDOCK; SCHUTE, 1996)

Segundo Bataglia 2004), os efeitos da interdependência das amostras podem ser agravados quando ocorrem contaminações das mesmas por resíduos de nutrientes aplicados via foliar, como também, alguns nutrientes apresentam concentração muito variável nos tecidos das plantas podendo causar prejuízos para outros mais estáveis.

3.6.3 Eficiência de utilização de nutriente – EUN

Para a EUN, o único resultado significativo foi encontrado para o Ca, sendo que suas maiores concentrações foram encontradas na Classe I, com um valor de 4,07 kg de nutriente mg de Biomassa (Tabela 18). Nas taxas de extração de nutrientes, nota-se que, na Classe III as árvores que acumularam mais nutrientes, foram, de modo geral, também as mais eficientes na

utilização dos componentes estudados. Já a Classe I apresentou a menor EUN, em relação às outras classes. Contudo, esses resultados não apresentaram diferenças significativas para os outros nutrientes assimilados. Schumacher 1999), em seu trabalho com algumas espécies de *Eucalyptus* sp., observaram que a espécie *Eucalyptus grandis* apresentou a maior eficiência nutricional para o elemento Ca, com valores variando entre 68,31; 2273,76 e 648,29 biomassas (kg)/nutrientes (kg) para a casca, lenho e tronco, respectivamente.

Tabela 18 - Eficiência de utilização de nutrientes (kg de nutriente e Mg de Biomassa) de híbridos de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental.

Classes	Eficiência da Utilização de Nutrientes (kg Mg ⁻¹)					
	Macronutrientes					
	N	P	K	Ca	Mg	S
I	2,34 (ns)	0,66 (ns)	3,82 (ns)	4,07 (A)	0,65 (ns)	0,41 (ns)
II	1,31 (ns)	0,28 (ns)	3,67 (ns)	1,94 (B)	0,47 (ns)	0,21 (ns)
III	1,91 (ns)	0,30 (ns)	3,50 (ns)	1,90 (B)	0,41 (ns)	0,18 (ns)
Classe	Micronutrientes					
	B	Zn	Fe	Mn	Cu	-
	I	0,01 (ns)	0,04 (ns)	0,05 (ns)	0,09 (ns)	0,01 (ns)
II	0,02 (ns)	0,02 (ns)	0,03 (ns)	0,09 (ns)	0,01 (ns)	-
III	0,01 (ns)	0,02 (ns)	0,03 (ns)	0,06 (ns)	0,01 (ns)	-

Em que: Classe I - Menor produtividade, Classe II - Média produtividade e Classe III - Maior produtividade; EUN - Eficiência de utilização de nutrientes; ns - não significativo. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, em cada compartimento da planta não diferem entre si pelo Teste SNK (p<0,05).

Fonte: Autor (2016)

A eficiência de utilização de nutrientes pode variar de acordo com a disponibilidade de nutrientes em função de alterações edáficas. Em geral, maior EUN pela planta corrobora para a maior disponibilidade dos nutrientes no solo (BARROS, 1986). Desse modo, a eficiência de utilização de nutrientes possibilita o reconhecimento de genótipos e de práticas de manejo que contribuam para a sustentabilidade florestal, bem como, a estimativa da demanda e adequado balanço nutricional do próximo ciclo (SAIDELLES *et al.*, 2010).

3.6.4 Máximo potencial produtivo

A demanda de nutrientes pela planta depende da sua taxa de crescimento e da eficiência com que ela converte o nutriente absorvido em biomassa. Essas diferenças na eficiência nutricional podem representar fator importante no emprego racional de fertilizantes (CARMO *et al.*, 2011). Para Barros 1990), a alta eficiência de assimilação realizadas pelas plantas otimiza a recuperação dos fertilizantes que são aplicados, sobretudo os pouco

solúveis, sendo de maior interesse nos estágios iniciais de crescimento e desenvolvimento do *Eucalyptus* sp. Por outro lado, essa eficiência é principalmente influenciada pela disponibilidade de água e de nutrientes, que aumentando o suprimento destes fatores, além do ponto de eficiência, tendem a aumentar a produção (EPSTEIN; BLOOM, 2013). Santana (2008), afirmam que o máximo potencial produtivo é fortemente influenciado pelas interações dinâmica dos fatores bioedafoclimáticos.

Em conformidade com os postulados dos autores supra citados, buscou-se encontrar o máximo potencial produtivo para o híbrido objeto do estudo. Para tanto, os valores totais no sistema solo \times planta (Tabela 19) foram relacionados com o IMA_{vol} para avaliar a estabilidade dinâmica dos macronutrientes, já para os micronutrientes foram encontradas equações de regressão para expressar a relação de cada nutriente com a produtividade correspondente.

Tabela 19 - Quantidade de nutrientes em compartimentos acima do solo de híbridos de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* em kg necessária para o máximo potencial produtivo aos 2,5 anos de idade, na Amazônia Oriental.

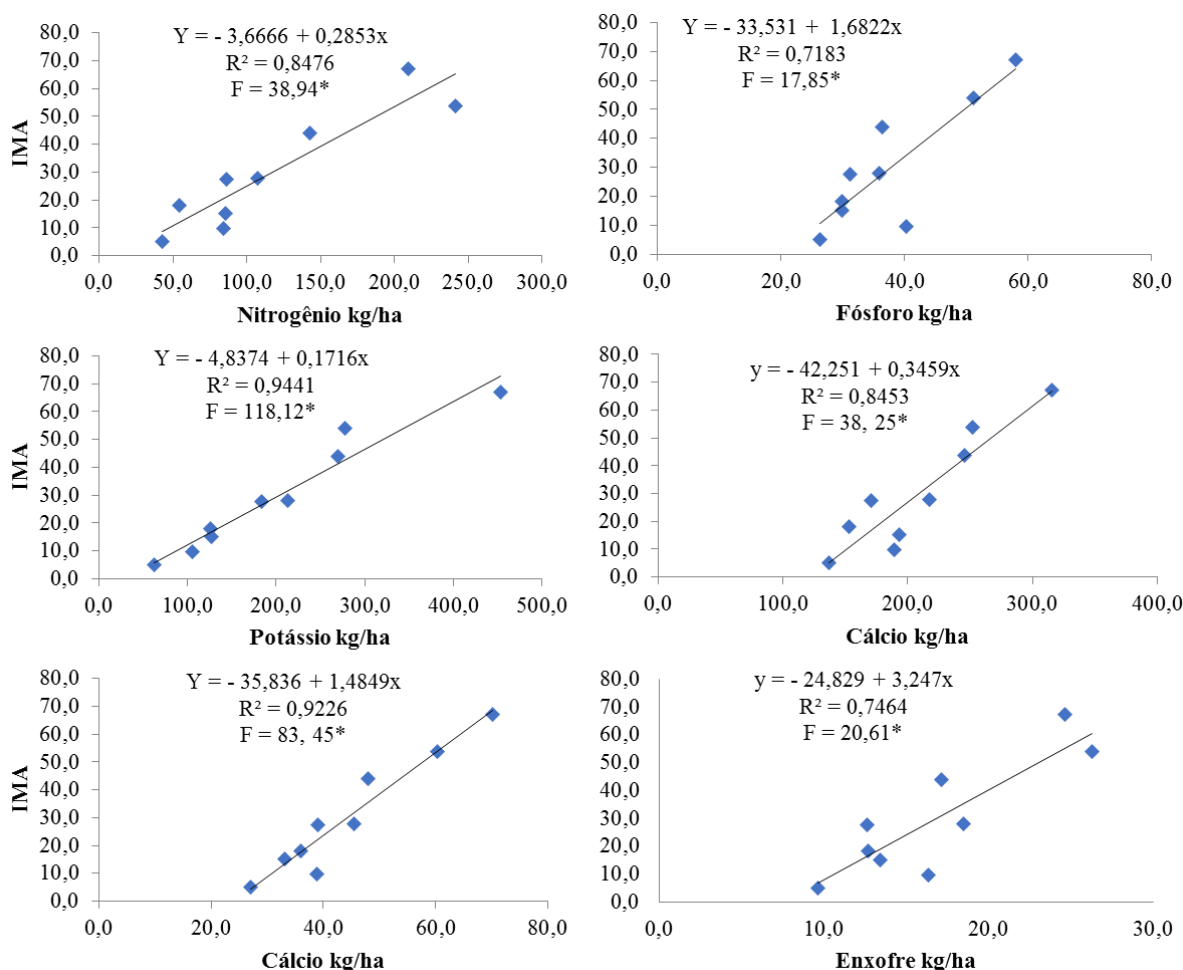
N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu
209,30	58,00	453,10	315,70	70,20	24,70	1,89	2,95

Em que: N- Nitrogênio, P- fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio, S - enxofre, B - boro, Zn - zinco e Cu - cobre.

Fonte: Autor (2016)

Para todos os macronutrientes pode-se observar uma tendência linear positiva, uma vez que ocorreu o aumento da produtividade com o aumento da dosagem do nutriente, na qual, matematicamente, o limite tende ao infinito (Figura 11). Carmo *et al.* (2011) observaram, em seu estudo com genótipos de *Eucalyptus* sp. em Lavras-MG, que estes diferiram na produção de biomassa e na eficiência nutricional, sendo ainda identificadas diferenças na eficiência de absorção, translocação e utilização dos macronutrientes. Os mesmos autores ressaltam ainda que resultados assim são relevantes para o entendimento de diversos segmentos de negócio da produção florestal, principalmente, no planejamento técnico e preciso da utilização de fertilizantes, épocas e forma de aplicação dos mesmos, acarretando nos ajustes nutricionais requeridos pela silvicultura de precisão.

Figura 11 - Relação dos níveis de macronutrientes nos compartimentos acima do solo com o incremento médio anual da biomassa de híbridos de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental.



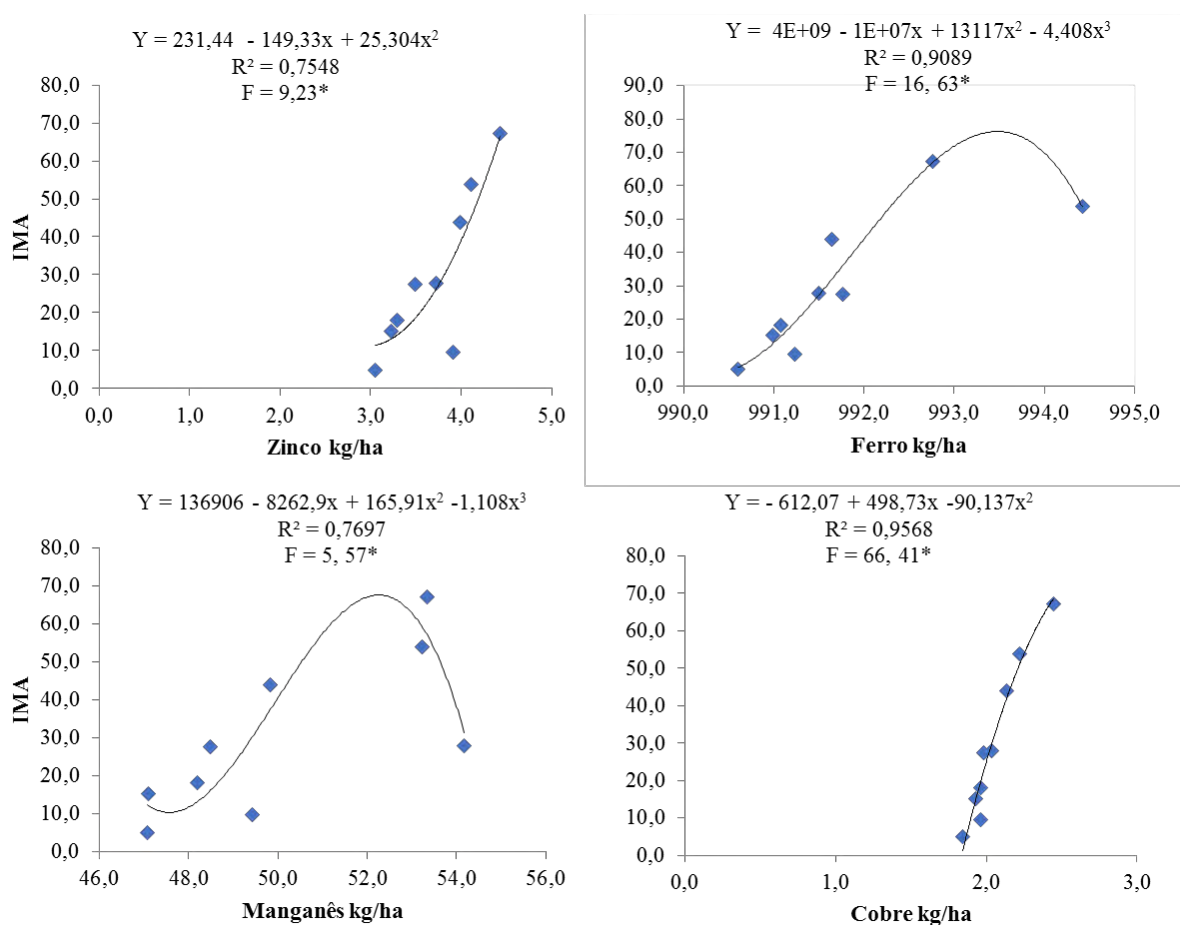
Em que: IMA (Y)- Incremento médio anual do volume em $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$; R^2 - Coeficientes de determinação; F - estatística de Fischer Snedecor; * significância da estatística F calculado ao nível de 5%.

Fonte: Autor (2016)

Para Faquin (1994), normalmente os nutrientes essenciais são absorvidos pelas plantas em quantidades específicas necessárias para o seu desenvolvimento e podem ser divididos de acordo com a concentração relativa nos tecidos da planta em micro e macronutrientes, sendo os macronutrientes requeridos em grandes quantidades para desempenho de funções estruturais no metabolismo vegetal. Entretanto, essa demanda nutricional deve ser tratada especificamente para cada material genético.

Com relação aos micronutrientes Zn, Mn, Fe e Cu, pode-se observar equações quadráticas e cúbicas para expressar o máximo potencial produtivo do IMA_{vol} (Figura 12). Com isso, foi possível inferir os valores do máximo potencial produtivo pela primeira e segunda derivada igual à zero, respectivamente para as equações quadráticas e cúbicas.

Figura 12 - Relação dos níveis de micronutrientes, exceto boro, nos compartimentos acima do solo com o incremento médio anual da biomassa de híbridos de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental.

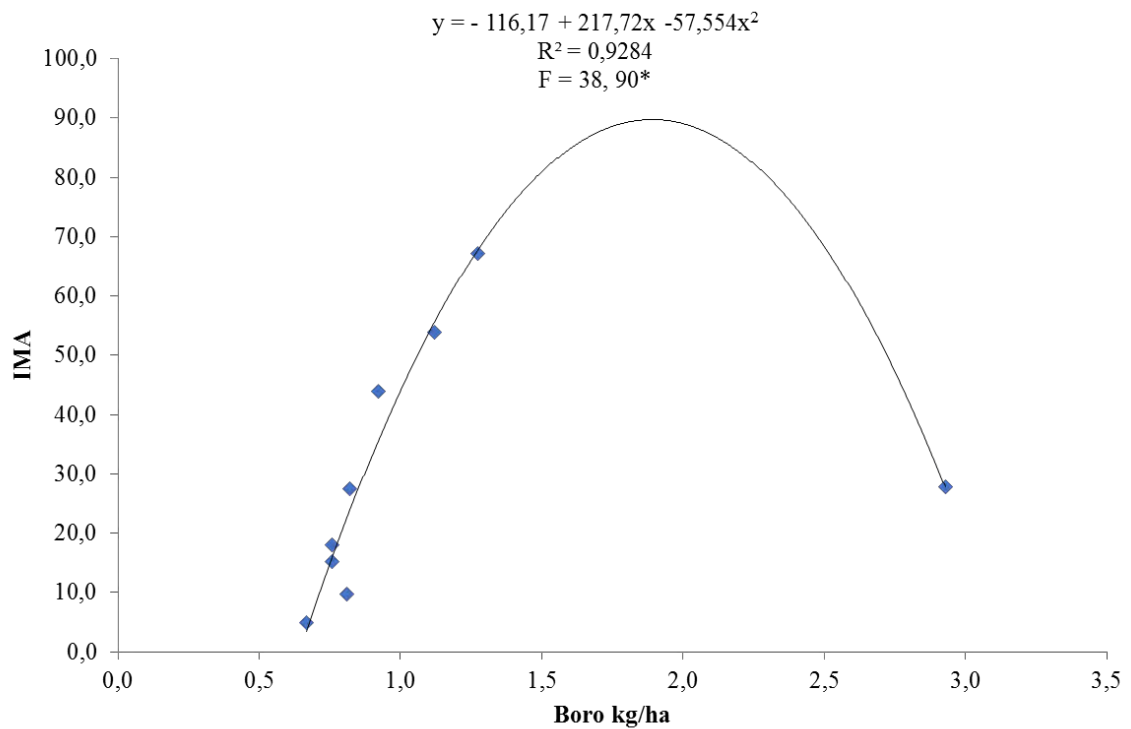


Em que: IMA (Y)- Incremento médio anual do volume em $m^3 \text{ há}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; R^2 - Coeficientes de determinação; F - estatística de Fischer Snedecor; * significância da estatística F calculado ao nível de 5%.

Fonte: Autor (2016)

Outro micronutriente que merece destaque é o boro (B), que demonstrou um limite próximo entre o máximo potencial produtivo e nível de fitotoxidez (Figura 13). A curta distância entre o primeiro e o segundo (máximo da curva) ponto de inflexão da curva quadrática expressa à relação entre o crescimento em IMA_{vol} com o acúmulo desse nutriente nos compartimentos. Essa faixa é considerada por (RAIJ, 1981), como pleno crescimento, sendo esta, um limite de segurança, que demonstra a sustentabilidade para a fertilização mineral. Entretanto, entende-se que níveis fora desse intervalo podem causar danos à produtividade de plantios com o híbrido *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Blake neste estudo.

Figura 13 - Relação dos níveis de Boro nos compartimentos acima do solo com o incremento médio anual da biomassa de híbridos de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Blake, na Amazônia Oriental.



Em que: IMA (Y)- Incremento médio anual do volume em $m^3 \text{ há}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; R^2 - Coeficientes de determinação; F – estatística de Fischer Snedecor; * significância da estatística F calculado ao nível de 5%.

Fonte: Autor (2016)

3.7 Conclusão

Para as condições desse estudo pode-se concluir que:

Os teores foliares não podem ser utilizados como padrões nutricionais nos plantios com o híbrido *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Blake estudado.

O conteúdo de nutrientes para a biomassa aérea total tem ordem de extração de nutrientes aos 2,5 anos de idade a seguinte: $K > N > Ca > Mg > P > S > Mn > Fe > Zn > B > Cu$.

O acúmulo dos macronutrientes foi diretamente proporcional ao incremento na produtividade volumétrica. Os micronutrientes apresentam pontos de máximos potenciais produtivos próximos ao ponto de fitotoxidez.

O manejo nutricional promoveu ganhos de até cinco vezes maior na produtividade do plantio clonal de híbrido de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na Amazônia Oriental.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, J. R. *et al.* Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo. **Natureza on line**, v. 10, n. 1, p. 23-28, 2012.
- 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, 2013.
- ALVES, A. M. C. **Quantificação da produção de biomassa e do teor de carbono fixado por clones de *Eucalyptus* sp., no Pólo Gesseiro do Araripe – PE.** 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012.** Brasília, 2013.
- BAILIAN, L.; McKEAND, S.E.; ALLEN, H.L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science, London**, v.37, p.613-628, 1991
- BALDOCK, J. O.; SCHULTE, E. E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agron. J.**, 88:448-456, 1996.
- BARROS, N. F. Classificação nutricional de sítios florestais - Descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 10, n. 2, p. 112-120, 1986.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-*Eucalyptus* sp.** Viçosa, MG, Folha de Viçosa, 1990. 430p.
- BASTOS, T. X. *et al.* **Características agroclimáticas do município de Paragominas.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, (Documentos, 228). 21p. 2005.
- BATAGLIA, O. N; QUAGGIO, J. A; SANTOS, W. R; ABREU, M. F. Diagnose nutricional do Cafeeiro pelo DRIS variando-se a constante de sensibilidade dos nutrientes de acordo com a intensidade e frequência de resposta na produção. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.2, p. 253-263, 2004.
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantio de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V., (Eds.). **Nutrição e Fertilização Florestal.** Piracicaba: 1º ed., p. 105-133, 2000.
- BR GLOBAL. **Importancia de los micronutrientes.** 2010. Disponível em: http://www.google.com.br/search?as_q=Importancia+del+Hierro+para+las+plantas&hl=pt-BR&num=10&btnG=Pesquisa+Google&as_epq=&as_oq=&as_eq=&lr=lang_es&cr=&as_ft=i&as_filetype=pdf&as_qdr=all&as_occt=any&as_dt=i&as_sitesearch=&as_rights=&safe=images. Acesso em 12 jan. 2020.
- CARMO, P, S. I., NETO, A. E. F., NEVES, J. C. L., FAQUIN, V., & DA SILVA MORETTI, B. (2011). Eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus* sp. na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35(2), 523-533.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Florestas plantadas: oportunidades e desafios da indústria de base florestal no caminho da sustentabilidade / Confederação Nacional da Indústria, **Indústria Brasileira de Árvores** - Brasília: CNI, 2017. 79 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. ed. 5, **rev. e ampl.**, Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. ed.3. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo de *Eucalyptus* sp. em propriedades rurais: diversificação renda**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2014. 140 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. Londrina, Planta, 2013. 402p.

FAQUIN, V. (2002). **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 77.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL: FAEPE, 1994. 227p.

IMAZON. (2008). **Diagnóstico sócio econômico e florestal do município de Paragominas, PA**. Disponível em: < <http://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/outros/iagnostico-socioeconomico-e-florestal-do.pdf>/ 2010>. Acesso em 09 de junho de 2016.

IMAZON. 2010 **Fatos Florestais da Amazônia, PA**. Disponível em: < <http://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/outros/fatos/florestais/da-amazonia-pdf/2008>>. Acesso em 05 de junho de 2016.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. 2015. Banco de Dados. Disponível em:<www.iba.org>. Acesso em 10 de maio de 2016.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2019**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 08 de nov. 2019.

MACHADO, S.A; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba, 2003. 309p.

MÁLAVOLTA, E. *et al.* Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas. São Paulo, **pioneira**, 1974, 752 p.

POGGIANI, F.; ZEN, S.; MENDES, F. S.; SPINA-FRANÇA, F. **Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos**. IPEF, Piracicaba, n. 27, p. 17-30, 1998.

RAIJ, B. V. **Avaliação da Fertilidade do Solo**. Piracicaba: Instituto de Potassa e Fosfato, 1981. 142 p.

SAIDELLES, F. L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; BALBINOT, R.; SCHIRMER, W. N. **Determinação do ponto de amostragem para a quantificação de macronutrientes em *Acacia mearnsii* de Wild**. Floresta, Curitiba, PR v. 40, n. 1, p. 49-62, 2010.

SANTANA, R. C., BARROS, N. D., Novais, R. F., Leite, H. G., & COMERFORD, N. B. (2008). Alocação de nutrientes em plantios de *Eucalyptus* sp. no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, 2723-2733.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F. NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Rev. Árvore**, Viçosa, MG, v.26, n. 4, p. 447-457, 1999.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *E. camaldulensis* Dehnh, *E. grandis* hill ex Maiden e *E. torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, 3(1), 21-34, 1999.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. (SEMAS). **Extração e Movimentação de Tora de Madeiras Nativas por município**. Relatórios anuais, 2006-2015.

SILVEIRA, F. A. **Anatomia vegetal**. Curvelo: Faculdade de Ciências de Curvelo. Departamento de Ciências Biológicas, 1999.

SILVEIRA, R. L. V. A.; CASARIN, V.; PAULA, T. A.; SILVEIRA, R. I. **Nutrição e Adubação com Boro em *Eucalyptus***. Piracicaba: RR agroflorestal, 2005. 32 p.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N. Aspectos nutricionais envolvidos na ocorrência de doenças com ênfase para o *Eucalyptus* sp.. **Circular Técnica IPEF**, n. 200, p. 01-13, 2003.

SMETHURST, P. *et al.* Efeito da adubação na LAI e crescimento de quatro plantações de *Eucalyptus nitens*. **Forest Ecology and Management**, v. 176, n. 1, p. 531-542, 2003.

SOARES, N. S. **Potencial de implantação de um contrato futuro da madeira de reflorestamento**. 2006. 121f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

SOARES, N. S. *et al.* Competitividade da cadeia produtiva da madeira de *Eucalyptus* sp. no Brasil. **Rev. Árvore**. vol.34, n.5, 2010, pp.917-928.

SOLTANPOUR, P, N. MALAKOUTI, M, J. RONAGHI, A. Comparação de diagnóstico e recomendação sistema integrado e faixa de suficiência de nutrientes para o milho. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, n. 1, p. 133-139, 1995.

SOUZA, J. T.; FIORENTIN, L. D. Quantificação da biomassa e do carbono em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill Maiden, em Santa Maria, RS. **Unoesc & Ciência - ACET**, Joaçaba, v. 4, n. 2, p. 253-262, jul./dez. 2013.

TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. Eficiência nutricional em plantas. In: POLANCZYK, R. A. *et al.* (Coord.). **Estudos avançados em produção vegetal**. Alegre: Editora UFES, p.23-41. 2008.

VIERA, M., *et al.* Nutrientes na serapilheira em um fragmento de floresta estacional decidual, Itaara, RS. 2012.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus* sp. na região Norte Fluminense. **Rev. Bras. Ciênc. Solo.** 2004, vol.28, n.5, pp.843-852.

4 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA NUTRIÇÃO E VOLUMETRIA DE ÁRVORES DE *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO

O Brasil, anualmente é destaque no cenário mundial em relação a produção das florestas plantadas. Dentre as tecnologias a serem desenvolvidas podemos destacar o conhecimento que relacione a interação entre os genótipos e as condições bioedafoclimáticas às quais os mesmos são submetidos. Em frente aos conhecimentos tradicionais, é crescente o uso de ferramentas computacionais que envolvem a inteligência artificial, como as redes neurais artificiais (RNA). Diante disso, neste estudo, objetivou-se avaliar o uso de redes neurais artificiais na interação do estado nutricional com a volumetria de árvores de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*, na Amazônia Oriental. Foram selecionadas e cubadas nove árvores divididas em três classes de circunferência à altura do peito (Classe I - 17 a 28,5 cm, Classe II - 28,6 a 40,2 cm e Classe III - 40,3 a 52 cm). Foi realizada a pesagem e amostragem dos componentes da parte aérea das árvores pelo método destrutivo, quantificando a biomassa úmida dos compartimentos das árvores. Foi aplicada a análise de variância e a comparação múltipla das médias pelo teste SNK ao nível de 5% de probabilidade, com vista na comparação dos compartimentos das árvores entre as classes de diâmetros. Para treinamento e validação das Redes Neurais Artificiais, foram separados 60% do banco de dados para o treinamento e 40% para a validação. Nas quais, treinaram-se 20 redes com três configurações de RNA do tipo perceptron de múltiplas camadas. Após o treinamento, foram avaliadas as seguintes medidas de precisão do ajustamento: coeficiente de correlação, raiz quadrada do erro médio em porcentagem, bem como, o teste qui-quadrado ao nível de 5% de probabilidade para a validação. O clone estudado teve a seguinte ordem de extração de nutrientes considerando a biomassa total aos dois anos de idade: $K > N > Ca > Mg > P > S > Mn > Fe > Zn > B > Cu$ (kg ha⁻¹). As redes neurais artificiais puderam representar com confiabilidade o volume das árvores pelo conteúdo nutricional dos compartimentos e pelos teores foliares dos nutrientes, representados pela Rede 3 MLP 17-7-1e Rede 2 MLP 12-1-1, respectivamente. Ainda, a relevância do uso das redes neurais foi constatada na estimativa do conteúdo total de nutrientes das árvores pelos teores foliares das mesmas. Assim, a análise conjunta dos nutrientes faz-se necessária para o correto manejo a ser aplicado nas florestas a fim de que se obtenham produções que compatibilizem o máximo potencial produtivo com o máximo econômico. Portanto, as redes neurais artificiais podem ser utilizadas para estimar volume de árvores de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* pelos conteúdos de nutrientes alocados nos compartimentos das árvores e pelos teores foliares de nutrientes, bem como, podem expressar a matriz nutricional dos compartimentos, pelos teores nutricionais das folhas das árvores de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*, na Amazônia Oriental.

Palavras-chave: Inteligência artificial; Teor foliar; Conteúdo de nutrientes.

ARTIFICIAL NEURAL NETS IN TREE NUTRITION AND VOLUMETRY OF *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, IN THE EASTERN AMAZON

ABSTRACT

Brazil is annually highlighted on the world stage in relation to the production of planted forests. Among the technologies to be developed, we can highlight the knowledge that relates the interaction between the genotypes and the bioedaphoclimatic conditions to which they are submitted. In front of traditional knowledge, the use of computational tools involving artificial intelligence, such as artificial neural networks (ANN), is increasing. Therefore, this study aimed to evaluate the use of artificial neural networks in the interaction of nutritional status with the volumetry of *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* trees, in the Eastern Amazon. Nine trees were selected and cubed, divided into three classes of circumference at breast height (Class I - 17 to 28.5 cm, Class II - 28.6 to 40.2 cm and Class III - 40.3 to 52 cm). Weighing and sampling the components of the aerial part of the trees by the destructive method, quantifying the wet biomass of the tree compartments. Analysis of variance and multiple comparison of averages were applied using the SNK test at the level of 5% probability, with a view to comparing tree compartments between diameter classes. For training and validation of Artificial Neural Networks, 60% of the database were separated for training and 40% for validation. In which, 20 networks were trained with three multilayer perceptron RNA configurations. After the training, the following measures of precision of the adjustment were evaluated: correlation coefficient, square root of the average error in percentage, as well as the chi-square test at the level of 5% of probability for the validation. The studied clone had the following order of nutrient extraction considering the total biomass at two years of age: K> N> Ca> Mg> P> S> Mn> Fe> Zn> B> Cu (kg ha⁻¹). The artificial neural networks were able to reliably represent the volume of the trees by the nutritional content of the compartments and by the foliar contents of the nutrients, represented by Network 3 MLP 17-7-1 and Network 2 MLP 12-1-1, respectively. Still, the relevance of the use of neural networks was verified in the estimation of the total nutrient content of the trees by their leaf contents. Thus, the joint analysis of nutrients is necessary for the correct management to be applied in forests in order to obtain productions that match the maximum productive potential with the economic maximum. Therefore, artificial neural networks can be used to estimate the volume of *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* trees by the nutrient contents allocated in the tree compartments and by the leaf nutrient contents, as well as, they can express the nutritional matrix of the compartments, by the nutritional contents. of the leaves of *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* trees, in the Eastern Amazon.

Keywords: Artificial intelligence; Leaf content; Nutrient content.

4.4 Introdução

O Brasil vem se destacar no cenário mundial no que tange a produção das florestas plantadas, ocasionado pela significativa expansão de áreas com plantios de *Eucalyptus* spp., principalmente nas regiões com pouca tradição na silvicultura dessa espécie (IBÁ, 2019). Desse modo, a realização de pesquisas com o objetivo de desenvolver tecnologias regionalizadas que levem em consideração as particularidades geográficas é indispensável para que esses resultados possam ser continuamente melhorados e novas áreas integradas (EMBRAPA, 2017).

Dentre as tecnologias a serem desenvolvidas podemos destacar o conhecimento que relacione a interação entre os genótipos e as condições bioedafoclimáticas às quais os mesmos são submetidos. Dessa forma, uma fronteira científica e tecnológica é criada, sendo voltada a silvicultura com parâmetros especiais e regionalizados (IBÁ, 2017).

A fronteira tecnológica só poderá ser alcançada com o advento da ciência que, para o *Eucalyptus* spp., em nível nacional, teve início há algumas décadas, principalmente nas regiões que concentraram os primeiros pólos industriais responsáveis pelo processamento da madeira oriunda de florestas plantadas (MATOS *et al.*, 2012).

Entretanto, com a crescente demanda por matéria prima, novos cenários vêm sendo criados. O Estado do Pará é um exemplo dessa mudança de paradigma, uma vez que, nos últimos anos, houve inserção de novas áreas com florestas plantadas, principalmente por espécies como paricá, teca e *Eucalyptus* spp. (IBÁ, 2017).

Nesse sentido, o sucesso dos plantios florestais é dependente da interação entre as vastas áreas do conhecimento, desde a ciência que avalia a fertilidade do solo e toda sua influência sobre os resultados da produção silvicultural (MATOS *et al.*, 2012).

Diante disso, o avanço de pesquisas no setor florestal é indispensável para o entendimento do crescimento em volume de madeira, principalmente no que tange na avaliação do potencial produtivo de um sítio florestal, bem como no equilíbrio da ciclagem biogeoquímica do sistema (CUNHA, 2010; KURIHARA, 2004; MILLER, 1984).

Frente aos conhecimentos tradicionais, é crescente o uso de ferramentas computacionais que envolvem a inteligência artificial, como as redes neurais artificiais (RNA). A RNA tem apresentado melhor desempenho em relação aos modelos de regressão, tolerância as falhas e ruídos, além da adaptabilidade dos pesos das conexões com modificações do ambiente, capaz de obter resolução de problemas complexos, através da habilidade de aprendizagem no treinamento. Assim, essa técnica é uma alternativa viável para

o melhor entendimento dos fenômenos que demandariam de muito tempo para serem analisados. Neste sentido, vários trabalhos foram desenvolvidos na área florestal, com foco nos mais diversos seguimentos do setor (BINOTI; BINOTI; LEITE, 2014; GÖRGENS *et al.*, 2007; ÖZÇELİK *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2009).

Outra vantagem é que os resultados das RNAs demonstram bons ajustes quando é inserido variáveis categóricas ou qualitativas na modelagem (HAYKIN, 2001). Nesse contexto, as pesquisas utilizando a modelagem com RNA na região amazônica são consideradas incipientes e raras, sendo uma alternativa tecnológica e que poderá reduzir os custos com o levantamento de dados de *in situ* para análise e inferências.

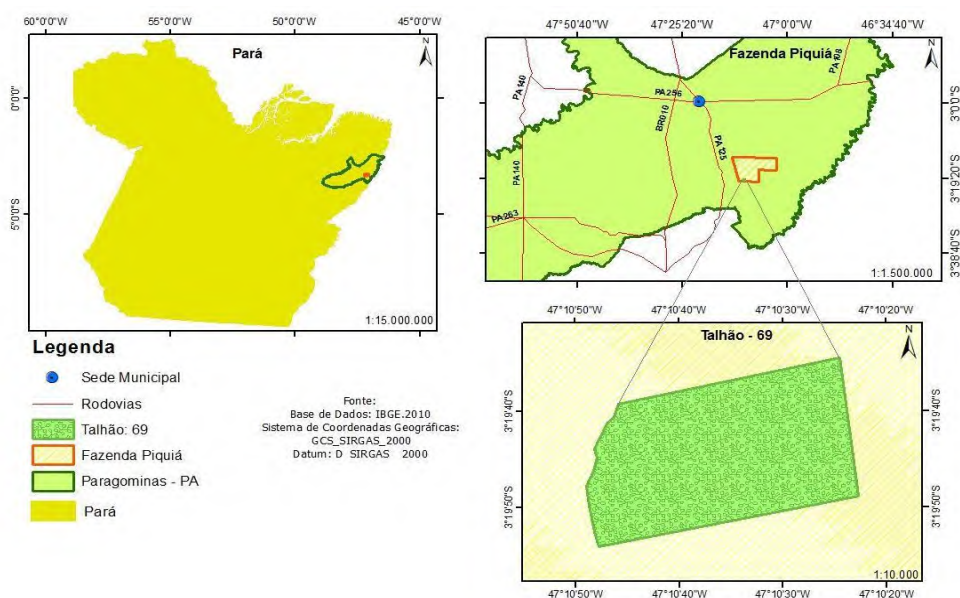
Diante do exposto, a pesquisa buscou elucidar a seguinte questão científica: As redes neurais artificiais podem estimar com confiabilidade o volume total de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden através do conteúdo de nutrientes contidos nos compartimentos acima do solo de árvores amostras? Para tanto, testou-se a seguinte hipótese: As redes neurais artificiais são eficientes para estimar o volume total de árvores de *E. brassiana* X *E. grandis* através de variáveis nutricionais. Desse modo, o objetivo foi analisar uso de redes neurais artificiais na estimativa do volume total de árvores de *E. brassiana* X *E. grandis* através de variáveis nutricionais na Amazônia Oriental.

4.5 Material e métodos

4.5.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida na fazenda Piquiá, (47°08'02,68" de latitude Sul e 03°16'01,54" de longitude Oeste), pertencente ao grupo Transporte Florestal Araguaia (TFA), situada às margens da rodovia PA-125, distante 42 Km do município de Paragominas, PA, (Figura 14).

Figura 14 - Localização da fazenda Piquiá pertencente ao grupo Transporte Florestal Araguaia no município de Paragominas-PA, Amazônia Oriental.



Fonte: Autor (2016)

Um fragmento de aproximadamente 33,7 hectares foi selecionado, possuindo plantio comercial do híbrido de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, com a idade de 2,5 anos arranjados sob o espaçamento de 3 x 3 m entre os indivíduos, a qual possui um aspecto homogêneo de paisagem, e solo classificado como sendo do tipo Latossolo Amarelo distrófico, de textura muito Arenosa (EMBRAPA, 2018).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é definido como sendo do tipo Aw, com precipitação média anual de 1.800 mm e temperatura média durante o ano de aproximadamente 26 °C (BASTOS *et al.*, 2005; ALVARES *et al.*, 2013).

No histórico anterior ao plantio de *Eucalyptus* destaca-se o uso de pastagens *braquiária humidicola* por 10 anos sem uso de insumos. Posteriormente, o solo foi preparado para o plantio de *Eucalyptus* sp. Para tanto, procedeu-se com a operação de gradagem e a aplicação de 300 kg ha⁻¹ de NPK 10-27-10 na subsolagem, 165 kg ha⁻¹ da mesma formulação

nas coberturas laterais e 750 kg ha^{-1} de NPK 15-00-20 dividido em três operações subsequentes.

4.5.2 Coleta de dados dendrométricos

A cubagem rigorosa e determinação dos teores de nutrientes foram obtidas de nove indivíduos selecionados aleatoriamente a partir de dados previamente inventariados, distribuídas em três classes de circunferências medidas a 1,30 m do solo: de 17 a 28,5 cm (Classe I), de 28,6 a 40,2 cm (Classe II) e de 40,3 a 52 cm (Classe III).

As árvores foram derrubadas com a utilização de um motosserra (Figura 15A), onde o corte foi realizado próximo ao solo. A cubagem rigorosa foi realizada pelo método de Smalian (Figura 15B e 15C), conforme metodologia apresentada por Machado e Figueiredo Filho (2003) (Equação 16).

As circunferências das seções dos fustes e as alturas a 0,30 m, 0,50 m, 0,70 m, 1,00 m, 2,00 m e assim, de dois em dois metros até atingir a altura total das árvores, foram medidas com fita centimétrica.

Figura 15 - Colheita (A), cubagem (B) e seccionamento das árvores (C) realizadas na área de estudo.



Fonte: Autor (2016).

Para o cálculo do volume do fuste sem casca foi utilizado o método de Smalian, no qual o volume é calculado por meio do produto da média aritmética obtida dos extremos das áreas seccionais pelo comprimento da seção (Equação 16).

$$V = \sum \left(\frac{g_i + (g_{i+1})}{2} \right) \cdot L \quad (16)$$

Em que:

V - Volume (m³)

g_i e g_{i+1} - área seccional obtida nas extremidades das seções (cm).

L - Comprimento da seção (m).

A produtividade volumétrica expressa no incremento médio anual em volume (IMA_{vol}) foi obtida conforme a Equação 17.

$$\text{IMA}_{\text{vol}} = (\text{Volume}_i \times n_i) / \text{Idade} \quad (17)$$

Em que:

IMA_{vol} - incremento médio anual em volume; m³ ha⁻¹ ano⁻¹

Volume - Volume da madeira por m³;

n_i - número de árvores por hectare;

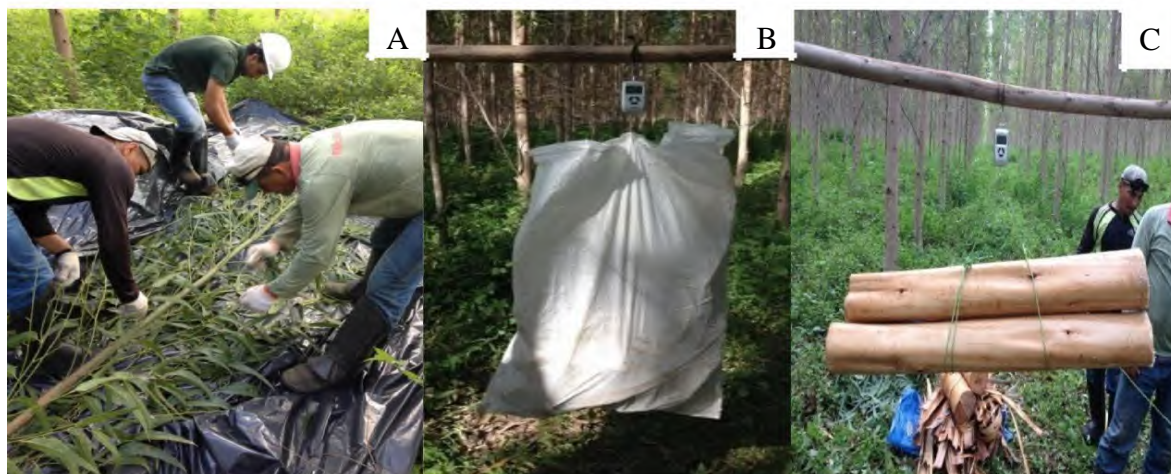
Idade - idade do plantio

4.5.3 Coleta de dados dos compartimentos acima do solo

O método destrutivo de quantificação foi utilizado para determinar a biomassa úmida das árvores. As árvores foram separadas por compartimento e, posteriormente, quantificados os teores de nutrientes em análise laboratorial (ALVES, 2007; SOUSA; FIORENTIN, 2013).

Todos os compartimentos foram pesados com auxílio de uma balança digital de gancho com precisão de 0,01 kg. Em seguida, 14 amostras de folhas e 10 amostras individuais (galho verde; galho seco; casca e pó de serragem) de aproximadamente 250 g dos compartimentos foram coletadas. Todas as folhas foram acondicionadas em lona plástica para pesagem (Figura 16A). Em seguida, cada árvore amostral foi desganhada e seus galhos separados e pesados em duas categorias: galhos verdes e galhos secos. Após a cubagem rigorosa de cada árvore, o fuste foi descascado e as cascas pesadas. O tronco foi seccionado em toretes e pesado (Figura 16B e 16C).

Figura 16 - Coleta de amostras dos compartimentos acima do solo de árvores de *Eucalyptus* sp..



Fonte: Autor (2016).

4.5.4 Análise estatística das amostras dos tecidos vegetais

Os dados de nutrição foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk com probabilidade de 5% para teste de normalidade. As variáveis que não apresentaram a distribuição normal foram normalizadas pela sua respectiva logaritmização. Em seguida, a análise de variância (ANAVA) foi realizada. Para as variáveis que rejeitaram a hipótese de igualdade foi aplicado o teste SNK (0,05), de comparação múltipla das médias.

4.5.5 Treinamento e validação das redes neurais artificiais - RNA

As RNA treinadas foram do tipo função de base radial (RBF) e perceptron de múltiplas camadas, também conhecida como Multilayer Perceptron (MLP). As RNA foram compostas por duas camadas artificiais, a oculta e de saída, que processam os dados, além da camada de neurônios que recebe e direciona os dados para camada oculta, a camada de entrada (BINOTI, 2010). O banco de dados foi separado em 60% para o treinamento e 40% para a validação.

Para responder às perguntas sobre a eficiência das redes neurais artificiais na estimação do volume total das árvores pelo conteúdo de nutrientes contidos nos diferentes compartimentos, empregaram-se os seguintes critérios (Tabela 20).

Tabela 20 - Componentes da RNA para a interação entre conteúdo nutricional dos compartimentos e o volume das árvores de *Eucalyptus* sp.

Entrada	Oculto	Saída	Funções de Ativação
Folha	7 a 34	Volume (m ³)	Identity
Galho Seco	-	-	Gaussian
Galho Verde	-	-	Logistic
Lenho	-	-	Tanh
Casca	-	-	Exponential
DAP	-	-	-
N	-	-	-
P	-	-	-
K	-	-	-
Ca	-	-	-
Mg	-	-	-
S	-	-	-
B	-	-	-
Zn	-	-	-
Fe	-	-	-
Mn	-	-	-
Cu	-	-	-

Em que: DAP- Diâmetro a altura do peito; N- Nitrogênio; P- Fósforo; K- Potássio; Ca- Cálcio; Mg- Magnésio; S- Enxofre; B- Boro; Zn- Zinco; Fe- Ferro; Mn- Manganês; Cu- Cobre.

Fonte: Autor (2017)

Para responder à questão sobre a eficiência das RNA na estimação dos conteúdos dos nutrientes nos compartimentos pelos teores foliares das árvores, os seguintes critérios foram adotados (Tabela 21).

Tabela 21 - Componentes da RNA para a interação entre os teores foliares de nutrientes e o conteúdo nutricional dos compartimentos das árvores de *Eucalyptus* sp.

Entrada	Oculto	Saída	Funções de Ativação
NF	2 a 20	NT	Identity
PF	-	PT	Gaussian
KF	-	KT	Logistic
CaF	-	CaT	Tanh
MgF	-	MgT	Exponential
SF	-	ST	-
BF	-	BT	-
ZnF	-	ZnT	-
FeF	-	FeT	-
MnF	-	MnT	-
CuF	-	CuT	-

Em que: NF- Nitrogênio da Folha, PF- Fósforo da Folha, KF- Potássio da Folha, CaF- Cálcio da Folha, MgF- Magnésio da Folha, SF- Enxofre da Folha, BF- Boro da Folha, ZnF- Zinco da Folha, FeF- Ferro da Folha, MnF- Manganês da Folha, CuF- Cobre da Folha. NT- Nitrogênio Total; PT- Fósforo Total; KT- Potássio Total; CaT- Cálcio Total; MgT- Magnésio Total, ST- Enxofre Total; BT- Boro Total; ZnT- Zinco Total; FeT- Ferro Total, MnT- Manganês Total; CuT- Cobre Total.

Fonte: Autor (2017)

A resposta para a questão relacionada à eficiência das RNA, na estimação do volume total das árvores pelos teores foliares, seguiu os seguintes critérios (Tabela 22).

Tabela 22 - Componentes da RNA para a interação entre os teores foliares e o volume das árvores de *Eucalyptus* sp.

Entrada	Oculto	Saída	Funções de Ativação
N	1 a 7	Volume (m ³)	Identity
P	-	-	Gaussian
K	-	-	Logistic
Ca	-	-	Tanh
Mg	-	-	Exponential
S	-	-	-
B	-	-	-
Zn	-	-	-
Fe	-	-	-
Mn	-	-	-
Cu	-	-	-

Em que: N- Nitrogênio; P- Fósforo; K- Potássio; Ca- Cálcio; Mg- Magnésio; S- Enxofre; B- Boro; Zn- Zinco; Fe- Ferro; Mn- Manganês; Cu- Cobre.

Fonte: Autor (2017)

Ao final, 60 RNA foram treinadas, das quais em cada situação experimental foram retidas as 5 melhores, perfazendo um total de 15 redes para validação. Para customização das redes neurais artificiais empregou-se o *Software Statistica trial* 13.0 (2020).

4.5.6 Seleção das redes neurais artificiais - RNA

Após o treinamento, foram avaliadas as seguintes medidas de precisão do ajustamento: coeficiente de correlação ($rv\hat{v}$) (Equação 18), raiz quadrada do erro médio em porcentagem (RQEM%) (Equação 19) e o teste qui-quadrado (x^2) ao nível de 5% de probabilidade para a validação (Equação 20). Após o cálculo dessas medidas, foram atribuídos pesos aos parâmetros estatísticos, consistindo no chamado método do Valor Ponderado (Equação 21).

As estatísticas foram ordenadas de acordo com a sua eficiência, sendo atribuído peso 1 para a equação mais eficiente, 2 para a segunda e assim sucessivamente, formando um ranking, conforme metodologia descrita por Thiersch (1997).

Após essa classificação individual, foi efetuado o somatório da pontuação para cada modelo matemático, sendo que a equação de volume que recebeu a menor soma foi a que obteve os melhores resultados estatísticos.

$$r_{\hat{V}V} = \frac{\Sigma[(V-\bar{V}) \cdot (\hat{V}-\bar{V})]}{\sqrt{[\Sigma(V-\bar{V})^2 \cdot \Sigma(\hat{V}-\bar{V})^2]}} \quad (18)$$

$$RQEM\% = \frac{100}{\bar{V}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Sigma(\hat{V}_i - V_i)^2}{n}\right)} \quad (19)$$

$$X^2 = \Sigma \left[\frac{(V - \hat{V})^2}{\hat{V}} \right] \quad (20)$$

$$\bar{X} = \frac{\Sigma X_i f_i}{\Sigma f_i} \quad (21)$$

Em que:

$r_{\hat{V}V}$ - Correlação entre os dados estimados;

RQEM% - Raiz quadrada do erro médio, em percentagem;

X^2 - Teste qui-quadrado em nível de 5% de probabilidade;

V_i - Volume comercial (m^3) real com casca até 4 cm de diâmetro da altura total da enésima árvore;

n - número total de observações;

\hat{V} - Volume estimado com casca até 4 cm de diâmetro no topo da enésima árvore (m^3);

\bar{V} - Média dos volumes reais, em m^3 .

4.5.7 Análise dos Pesos Sinápticos

Os pesos sinápticos serão transformados para o entendimento da sua real magnitude (Equação 22), bem como, serão analisados em sua totalidade nas proporções originais para o entendimento da excitação provocada pelos mesmos (Equação 23).

$$PT = \Sigma \sqrt{PS_i} \quad (22)$$

$$PO = \Sigma PS_i \quad (23)$$

Em que:PT - Pesos Sinápticos Transformados; PO - Pesos Sinápticos Originais; PSi- Peso Sináptico individual da conexão entre neurônios.

4.6 Resultados e discussão

Considerando a copa da árvore como a união dos compartimentos galho verde, galho seco e folha, a hipótese de igualdade entre os compartimentos foi aceita, ou seja, não houve diferença significativa para nenhum nutriente avaliado. Porém, no tronco (tronco + casca), com exceção de S, Fe e Mn, houve efeito significativo ($p < 0,05$) para os demais nutrientes (Tabela 23).

No compartimento copa, o N apresentou valor equivalente a 36,55 e o K 30,73 kg ha⁻¹ na Classe III. Já a Classe I foi a que menos acumulou N e K, com valores iguais a 11,89 e 11,75 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 23). Esses valores foram inferiores aos encontrados por Gatto 2003), que observaram acúmulo desse nutriente na copa de árvores de *Eucalyptus* sp. com 49,9 kg ha⁻¹ para N e 31,86 kg ha⁻¹, para K.

No tronco, os valores diferiram para a maioria dos nutrientes, com exceção do S, B, Fe e Mn. Em geral, a classe que se destacou em relação à quantidade de nutrientes assimilados foi a Classe III, uma vez que partes dos nutrientes assimilados são agregadas e incorporadas à biomassa. Em relação aos nutrientes acumulados no tronco, o K apresentou uma quantidade bastante elevada em relação aos outros nutrientes, sendo a maior quantidade encontrada na Classe III e a menor quantidade na Classe I, com o valor 273,75 e 53,46 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 23).

Santana, Barros e Neves (1999), evidenciaram a estreita relação que existe entre produção de biomassa e conteúdo de nutrientes que as árvores assimilam. Nesse sentido Schumacher e Poggiani (1999), em seu estudo com três espécies de *Eucalyptus* sp. plantados em Anhembi-SP verificaram um aumento significativo de biomassa, com acúmulo médio de 73% dos nutrientes. Esta característica demonstra o quanto o ciclo bioquímico é fundamental para esta espécie que possui rápido crescimento e retém na biomassa uma elevada quantidade de nutrientes.

O clone estudado teve a seguinte ordem de extração de nutrientes considerando a biomassa total aos dois anos e meio de idade: K > N > Ca > Mg > P > S > Mn > Fe > Zn > B > Cu (kg ha⁻¹). Isso demonstra a importância do K, no processo inicial de crescimento da árvore, o que posteriormente, com a maior atividade do meristema secundário, que é o tecido encontrado em todas as plantas, constituído de células indiferenciadas. Essa hierarquia foi diferente daquela encontrada por Vieira *et al.* (2012), que ao estudarem o acúmulo de biomassa em clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* com idade de 18 meses, onde observaram a seguinte ordem Ca > N > Mg > K > P > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu.

Tabela 23 - Teste de comparação múltipla de médias pelo teste SNK da nutrição e classificação de nutrientes na parte aérea de híbridos de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden aos 2,5 anos de idade, na Amazônia Oriental.

CLASSES	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu
	Kg ha ⁻¹										
COPA											
I	11,89 (ns)	4,96 (ns)	11,75 (ns)	26,38(ns)	4,86(ns)	1,75 (ns)	0,05 (ns)	0,07 (ns)	0,10 (ns)	0,67 (ns)	0,03 (ns)
II	15,02 (ns)	2,34 (ns)	15,51 (ns)	15,26 (ns)	3,68 (ns)	1,45 (ns)	0,07 (ns)	0,07 (ns)	0,11 (ns)	1,24 (ns)	0,02 (ns)
III	36,55 (ns)	5,67 (ns)	30,73(ns)	34,86 (ns)	8,31(ns)	3,57 (ns)	0,13 (ns)	0,12 (ns)	0,16 (ns)	1,98 (ns)	0,05 (ns)
TRONCO											
I	29,11 (b)	5,33 (b)	53,46 (b)	41,18 (b)	5,57 (b)	4,83 (ns)	0,09 (ns)	0,54 (b)	0,65 (ns)	0,70 (ns)	0,08 (b)
II	38,25 (b)	8,43 (ab)	127,6 (ab)	61,15 (ab)	14,14 (b)	6,69 (ns)	0,85 (ns)	0,65 (b)	1,17 (ns)	2,53 (ns)	0,17 (b)
III	126,56(a)	20,90 (a)	273,75(a)	127,79 (a)	27,64 (a)	12,14 (ns)	0,35 (ns)	1,29(a)	2,65 (ns)	3,45 (ns)	0,42 (a)
TOTAL											
I	41,00 (b)	10,28 (ns)	65,21 (b)	67,55 (b)	10,43 (b)	6,58 (ns)	0,14 (ns)	0,61 (b)	0,75 (ns)	1,37 (ns)	0,11 (b)
II	53,27 (b)	10,77 (ns)	143,20 (ab)	76,41 (b)	17,82 (ab)	8,15 (ns)	0,93 (ns)	0,72 (a)	1,28 (ns)	3,78 (ns)	0,20 (b)
III	163,11 (a)	26,57 (ns)	304,48 (a)	162,66 (a)	35,95 (a)	15,71 (ns)	0,48 (ns)	1,41(a)	2,81(ns)	5,42 (ns)	0,47 (a)

Em que: Classe I - 17 a 28,5 cm, Classe II - 28,6 a 40,2 cm e Classe III - 40,3 a 52 cm; ns - não significativo. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, em cada compartimento da planta não diferem entre si pelo Teste SNK ($p < 0,05$). N- Nitrogênio; P- Fósforo; K- Potássio; Ca- Cálcio; Mg- Magnésio; S- Enxofre; B- Boro; Zn- Zinco; Fe- Ferro; Mn- Manganês; Cu- Cobre.

Fonte: Autor (2017)

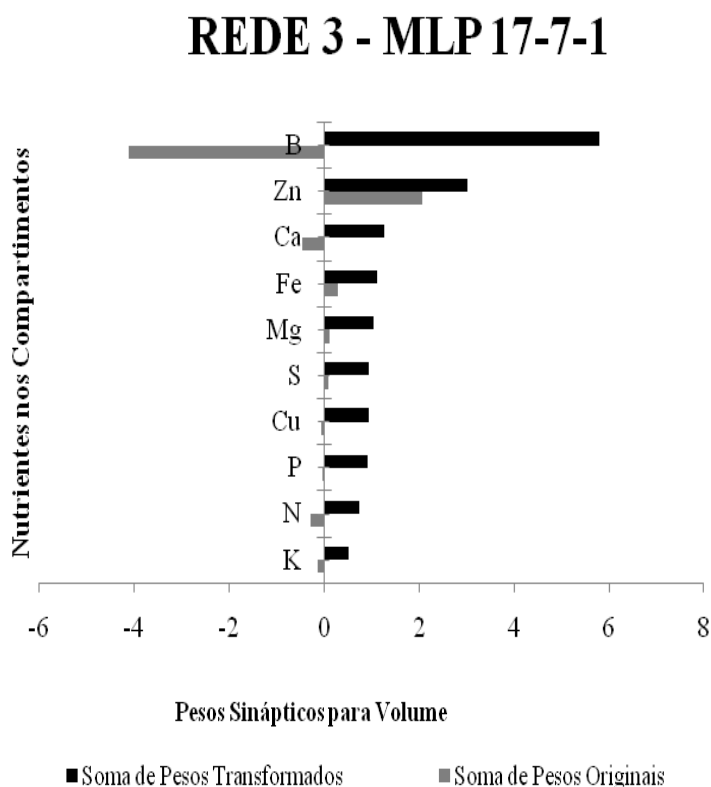
Para a avaliação do estado nutricional também é relevante que seja levado em consideração a estabilidade dinâmica entre o sistema solo x planta. Com isso, a análise química do solo é certamente a ferramenta mais eficiente e segura que os técnicos e os produtores dispõem para a avaliação da capacidade do solo em fornecer nutrientes às plantas (FAQUIN, 2002).

Para Malavolta *et al.* (1974), de maneira geral, as concentrações dos nutrientes na copa inteira são mais baixas em relação aos teores de nutrientes usualmente encontrados, apenas nas folhas. Portanto, apenas os teores foliares são pouco precisos para a padronização do estado nutricional de uma árvore por inteiro. Assim, combinações não lineares tornam-se necessárias para o melhor entendimento desses fenômenos de maneira que as RNAs podem corroborar significativamente para o entendimento dos fenômenos, principalmente na análise dos pesos sinápticos

Os pesos sinápticos são valores, positivos ou negativos, dando a força, ou eficácia, da ligação sináptica entre um neurônio que envia o sinal e o neurônio que o recebe. Quando o peso de uma sinapse é positivo, ela é dita excitatória; quando ele é negativo, ela é dita inibitória.

Os pesos sinápticos da RNA 3 MLP 17-7-1 relacionados ao volume total da árvore com os nutrientes totais dos compartimentos da planta, correspondem à seguinte ordem hierárquica: B, Zn e Ca (Figura 17). Chama-se a atenção para o B, uma vez que a faixa de toxidez deste micronutriente pode limitar significativamente o crescimento em volume das árvores. O Zn foi o único dos três mais importantes com a proporcionalidade positiva, evidenciando a relevância deste na nutrição mineral e programas de adubação.

Figura 17 - Pesos sinápticos da RNA 3 (MLP 17-7-1) dados pela relação entre o volume total da árvore e os nutrientes totais dos compartimentos (Vol × NT), na Amazônia Oriental. Fonte: Autor (2017).



Os três nutrientes com menores pesos foram o P, N e K. Isto pode estar relacionado com a ordem numérica da unidade a qual os nutrientes são mensurados (g kg^{-1}). A RNA 3 MLP 17-7-1 apresentou um melhor ajuste, possuindo um coeficiente de correlação de 0,93 (Tabela 24). Assim, o algoritmo de aprendizado utilizado nas RNA expressa os comportamentos não lineares e diferentes combinações entre todas as variáveis analisadas.

Tabela 24 - Configurações das redes e coeficientes de correlação ($rv\hat{v}$) entre os valores reais e estimados do volume total das árvores pelo conteúdo dos nutrientes nos compartimentos, na Amazônia Oriental.

Rede	Nº de neurônios	Função de ativação		$rv\hat{v}$	RQEM%	χ^2	VP
		Camada oculta	Camada de saída				
RNA 1	MLP 17-12-1	Identity	Exponential	0,649	270,933	0,374 ns	13
RNA 2	RBF 17-9-1	Gaussian	Identity	0,349	270,793	0,398 ns	14
RNA 3	MLP 17-7-1	Logistic	Exponential	0,936	1,687	0,062 ns	3
RNA 4	MLP 17-13-1	Tanh	Exponential	0,871	3,388	0,072 ns	6
RNA 5	MLP 17-7-1	Tanh	Logistic	0,763	79,283	0,208 ns	9

Em que: MLP - rede perceptron multi-camadas; RBF- rede de função de base radial ; $rv\hat{v}$ - coeficientes de correlação; RQEM%- raiz quadrada do erro médio; χ^2 - teste qui-quadrado em nível de 5% de probabilidade; VP- valor ponderado.

Fonte: Autor (2017).

Os comportamentos dos nutrientes variaram em razão do aprendizado das RNA, considerando que entre as cinco melhores redes que foram retidas, apenas a RNA 1 (RBF 11-2-11) não apresentou um bom ajuste para nenhum dos nutrientes analisados (Tabela 25). O Ca, apesar de ter boas medidas de precisão do treinamento, não foi validado por nenhuma das redes. No entanto o Ca é um nutriente com maior acúmulo na planta, quando a mesma inicia o processo metabólico de desenvolvimento do meristema secundário, acumulando este nutriente, principalmente na casca das árvores.

Tabela 25 - Configurações das redes e coeficientes de correlação (rv̂) entre os valores reais e estimados do volume total das árvores pelo conteúdo dos nutrientes nos compartimentos.

Nutrientes	Rede	Arquitetura	Função de ativação		rv̂	RQEM%	X ²	VP
			Camada oculta	Camada de saída				
Nitrogênio	RNA 1	RBF 11-2-11	Gaussian	Identity	0,276	11,345	9,129 *	13
	RNA 2	MLP 11-3-11	Identity	Tanh	0,999	0,001	8,096 ns	7
	RNA 3	MLP 11-3-11	Logistic	Identity	0,928	0	7,895 ns	6
	RNA 4	MLP 11-5-11	Exponential	Exponential	1	0,014	12,79 *	9
	RNA 5	MLP 11-4-11	Tanh	Logistic	0,999	0,915	11,73 *	10
Fósforo	RNA 1	RBF 11-2-11	Gaussian	Identity	0,985	33,338	2,057 ns	11
	RNA 2	MLP 11-3-11	Identity	Tanh	0,991	0,004	7,954 ns	10
	RNA 3	MLP 11-3-11	Logistic	Identity	0,986	0,002	4,343 ns	8
	RNA 4	MLP 11-5-11	Exponential	Exponential	1	0,001	15,86 *	7
	RNA 5	MLP 11-4-11	Tanh	Logistic	0,995	0,946	4,753 ns	9
Potássio	RNA 1	RBF 11-2-11	Gaussian	Identity	0,869	12,474	3,078 ns	12
	RNA 2	MLP 11-3-11	Identity	Tanh	0,998	0,018	2,190 ns	8
	RNA 3	MLP 11-3-11	Logistic	Identity	0,843	0,001	3,345 ns	11
	RNA 4	MLP 11-5-11	Exponential	Exponential	1	0,001	49805 *	7
	RNA 5	MLP 11-4-11	Tanh	Logistic	0,999	0,94	2,007 ns	7
Cálcio	RNA 1	RBF 11-2-11	Gaussian	Identity	0,666	26,314	14,87 *	11
	RNA 2	MLP 11-3-11	Identity	Tanh	0,99	0,015	23,32 *	10
	RNA 3	MLP 11-3-11	Logistic	Identity	0,998	0,01	32,59 *	9
	RNA 4	MLP 11-5-11	Exponential	Exponential	1	0,001	73613 *	7
	RNA 5	MLP 11-4-11	Tanh	Logistic	1	0,246	20,72 *	8
Magnésio	RNA 1	RBF 11-2-11	Gaussian	Identity	0,958	5,469	0,214 ns	11
	RNA 2	MLP 11-3-11	Identity	Tanh	1	0	2,230 ns	7
	RNA 3	MLP 11-3-11	Logistic	Identity	0,998	0,001	0,970 ns	9
	RNA 4	MLP 11-5-11	Exponential	Exponential	1	0	4,350 ns	8
	RNA 5	MLP 11-4-11	Tanh	Logistic	0,999	0,325	1,131 ns	10

Continua

Continuação

Enxofre	RNA 1	RBF 11-2-11	Gaussian	Identity	0,751	11,922	0,124 ns	11
	RNA 2	MLP 11-3-11	Identity	Tanh	0,997	0,003	0,405 ns	7
	RNA 3	MLP 11-3-11	Logistic	Identity	0,991	0	0,419 ns	9
	RNA 4	MLP 11-5-11	Exponential	Exponential	0,997	1,886	2,914 ns	12
	RNA 5	MLP 11-4-11	Tanh	Logistic	0,998	0,944	0,265 ns	6
Boro	RNA 1	RBF 11-2-11	Gaussian	Identity	0,758	40,077	0,242 ns	15
	RNA 2	MLP 11-3-11	Identity	Tanh	0,958	0,001	0,161 ns	7
	RNA 3	MLP 11-3-11	Logistic	Identity	0,974	0,014	0,177 ns	8
	RNA 4	MLP 11-5-11	Exponential	Exponential	1	0,051	0,232 ns	8
	RNA 5	MLP 11-4-11	Tanh	Logistic	1	4	0,151 ns	7
Zinco	RNA 1	RBF 11-2-11	Gaussian	Identity	0,929	21,015	0,052 ns	12
	RNA 2	MLP 11-3-11	Identity	Tanh	1	0,003	0,225 ns	8
	RNA 3	MLP 11-3-11	Logistic	Identity	0,997	0,102	0,120 ns	9
	RNA 4	MLP 11-5-11	Exponential	Exponential	1	2,651	0,036 ns	5
	RNA 5	MLP 11-4-11	Tanh	Logistic	0,999	2,827	0,133 ns	11
Ferro	RNA 1	RBF 11-2-11	Gaussian	Identity	0,915	13,313	0,131 ns	14
	RNA 2	MLP 11-3-11	Identity	Tanh	0,985	0,008	0,111 ns	9
	RNA 3	MLP 11-3-11	Logistic	Identity	0,993	0,001	0,065 ns	5
	RNA 4	MLP 11-5-11	Exponential	Exponential	1	7,464	0,089 ns	7
	RNA 5	MLP 11-4-11	Tanh	Logistic	1	1,035	0,158 ns	10
Manganês	RNA 1	RBF 11-2-11	Gaussian	Identity	0,78	34,814	3,692 ns	15
	RNA 2	MLP 11-3-11	Identity	Tanh	0,997	0,001	0,602 ns	6
	RNA 3	MLP 11-3-11	Logistic	Identity	0,985	0,009	0,893 ns	9
	RNA 4	MLP 11-5-11	Exponential	Exponential	1	0,061	3,163 ns	8
	RNA 5	MLP 11-4-11	Tanh	Logistic	1	2,772	0,413 ns	7
Cobre	RNA 1	RBF 11-2-11	Gaussian	Identity	0,862	18,737	0,007 ns	11
	RNA 2	MLP 11-3-11	Identity	Tanh	1	0,03	0,032 ns	7
	RNA 3	MLP 11-3-11	Logistic	Identity	0,978	0,001	0,007 ns	7
	RNA 4	MLP 11-5-11	Exponential	Exponential	0,999	1,504	2,784 ns	11
	RNA 5	MLP 11-4-11	Tanh	Logistic	0,998	0,261	0,017 ns	9

Em que: MLP – perceptron multi-camadas; RBF- função de base radial ; rv̂- coeficientes de correlação; RQEM%- raiz quadrada do erro médio; χ^2 - teste qui-quadrado em nível de 5% de probabilidade; VP- valor ponderado.

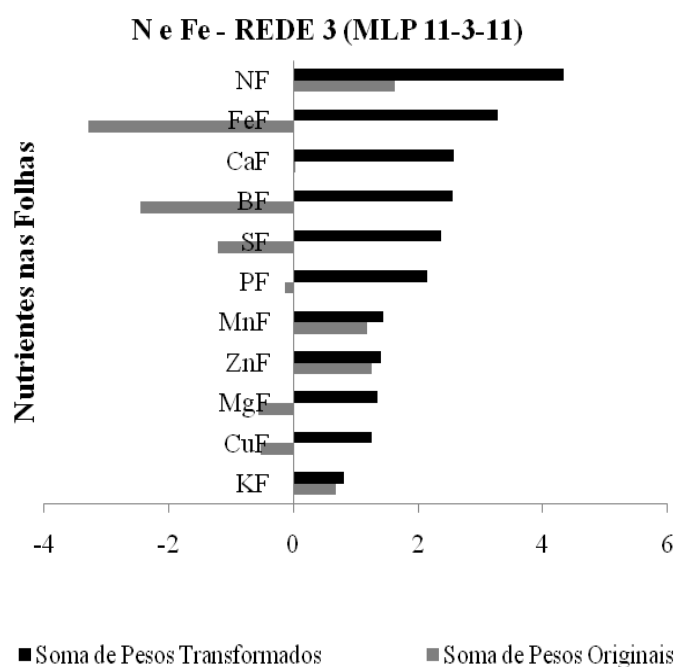
Para a RNA 3 (MLP 11-3-11), os nutrientes com os pesos mais representativos foram N, Fe e Ca e os de menor representação foram Mg, Cu e K (Figura 18). Desta maneira, percebe-se que o acúmulo de Fe nas folhas pode influenciar negativamente o acúmulo total desse nutriente na árvore, com redução do desenvolvimento em volume.

Na RNA 4 (MLP 11-5-11), os pesos foram mais significativos para o Mn, N e B, e os menos significativos foram para o S, Zn e Cu. Entretanto, o P e o Zn demonstraram ser

inversamente proporcionais ao acúmulo das folhas e na árvore toda (Figura 19). Sendo o Zn um nutriente relevante para o crescimento da árvore em volume, este deve ter sua concentração reduzida nas folhas. Esse cenário pode ser propiciado à árvore com dosagens adequadas desse nutriente, pois o mesmo tem alta mobilidade no floema e podem concentrar nos tecidos velhos e causar toxidez as plantas.

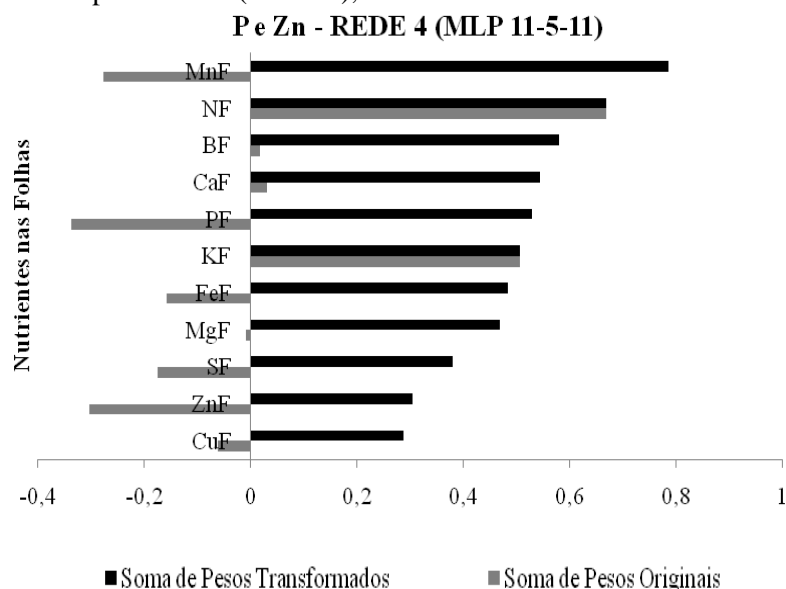
Para a RNA 5 MLP 11-4-11 os nutrientes com maiores pesos sinápticos foram o Ca, B e Cu, e o S, K e Zn pouco contribuindo para a expressão da nutrição total da árvore (Figura 20). Entretanto, cabe-se ressaltar que os elevados níveis de B nas folhas contribuem para o total da árvore, sendo o B um nutriente relevante para a relação conteúdo dos compartimentos e o volume das árvores, deve-se trabalhar a adubação desse nutriente com fertilizantes de rápida absorção, uma vez que este nutriente tem baixa mobilidade na planta e pode acumular nos tecidos meristemáticos (SILVEIRA et al, 2002).

Figura 18 - Pesos sinápticos da RNA 3 (MLP 11-3-11) dados pela relação entre os teores foliares x nutrientes totais dos compartimentos (NF×NT), na Amazônia Oriental.



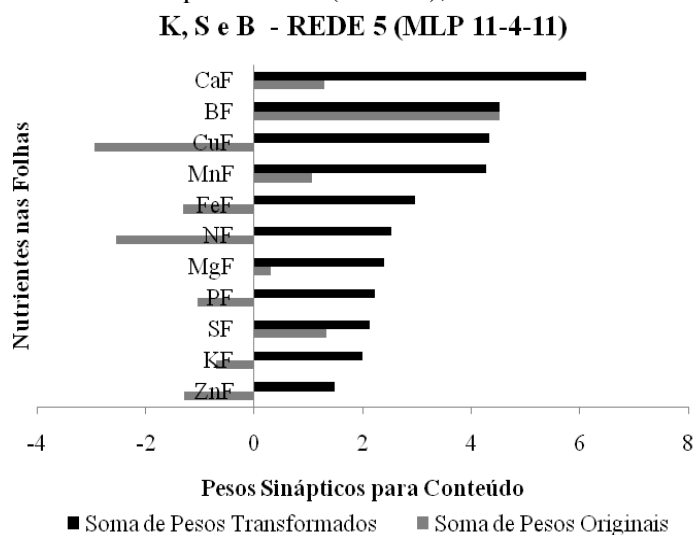
Fonte: Autor (2017).

Figura 19 - Pesos sinápticos da RNA 4 (MLP 11-5-11) dados pela relação entre os teores foliares e os nutrientes totais dos compartimentos (NF×NT), na Amazônia Oriental.



Fonte: Autor (2017).

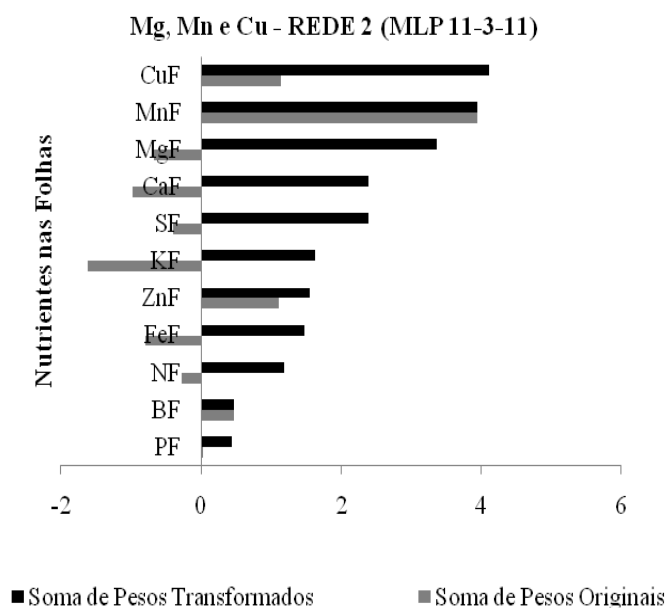
Figura 20 - Pesos sinápticos da rede neural artificial 5 MLP 11-4-11 dados pela relação entre os teores foliares e os nutrientes totais dos compartimentos (NF×NT), na Amazônia Oriental.



Fonte: Autor (2017).

Na RNA 2 MLP 11-3-11, os nutrientes com pesos mais significativos foram, respectivamente, o Cu, Mn e Mg. Já os pesos de menor significância foram N, B e P (Figura 21). Em relação à proporcionalidade dos valores, Cu, Mn, B e P foram os que tiveram a proporcionalidade positiva.

Figura 21 - Pesos sinápticos da rede neural artificial 2 MLP 11-3-11, entre os teores foliares e os nutrientes totais dos compartimentos (NF×NT), na Amazônia Oriental.



Fonte: Autor (2017).

Dentre as RNA analisadas para a observação do volume total em relação aos teores foliares dos nutrientes, a RNA 2 (MLP 12-1-1) obteve os melhores valores das medidas de precisão do ajustamento no treinamento e validação comprovada pelo teste qui-quadrado (Tabela 26). A relevância dos teores foliares e o volume das árvores podem ser explicados porque as folhas são centros metabólicos da planta, razão pela qual a mesma tem a maior concentração para a maioria dos nutrientes (CARVALHO et al, 2017).

Tabela 26 - Configurações e coeficientes de correlação ($rv\hat{v}$) entre os valores reais e estimados das cinco melhores redes retidas na relação entre teores foliares e nutrientes totais dos compartimentos, na Amazônia Oriental.

Rede	Nº de neurônios	Função de ativação		rv \hat{v}	RQEM%	x ²	VP
		Camada oculta	Camada de saída				
RNA 1	RBF 12-3-1	Gaussian	Identity	0,659	0,000	0,068 ns	7
RNA 2	MLP 12-1-1	Exponential	Tanh	1,000	0,120	0,000 ns	8
RNA 3	RBF 12-3-1	Gaussian	Identity	0,659	0,000	0,068 ns	7
RNA 4	RBF 12-2-1	Gaussian	Identity	0,638	0,000	0,093 ns	11
RNA 5	MLP 12-6-1	Exponential	Identity	1,000	0,001	0,096 ns	9

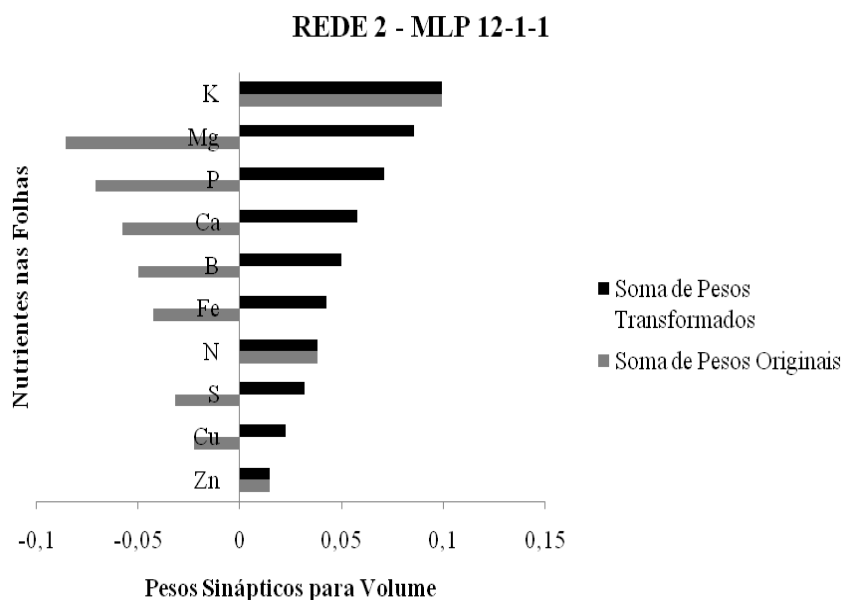
Em que: MLP - rede perceptron multi-camadas; RBF- rede de função de base radial ; rv \hat{v} - coeficientes de correlação; RQEM%- raiz quadrada do erro médio; x² - teste qui-quadrado em nível de 5% de probabilidade; VP- valor ponderado.

Fonte: Autor (2017).

Assim, é possível classificar os nutrientes K, Mg e P como os melhores pesos e S, Cu e Zn como os menores pesos (Figura 22). Sendo, o K um nutriente foliar muito importante e

com proporcionalidade positiva, de forma que, quanto maior o teor foliar desse nutriente maior será o volume das árvores. Em contrapartida, todos os demais nutrientes, com exceção do N e do Zn, foram inibitórios para a expressão máxima do volume das árvores.

Figura 22 - Pesos sinápticos da RNA 2 (MLP 12-1-1) dados pela relação entre os teores foliares e o volume da árvore (NF×Vol), Amazônia Oriental.



Fonte: Autor (2017).

Dentre os nutrientes citados na literatura científica, o potássio (K) apresenta consistentes resultados positivos na redução da incidência de pragas e doenças (BACILIERI *et al.*, 2017) e as folhas de *Eucalyptus* sp. apresentam um acúmulo de K em função da sua idade (BELLOTE *et al.*, 1980; HAAG, 1977; SILVA; FERREIRA; CORRÊA, 2006). Tal informação pode ser decorrente do avanço em melhoramento genético da espécie, o que gera uma alta relação na RNA 2 MLP 12-1-1 avaliando Nutrientes totais da folha x volume. Porém, o K em nível elevado reduz os teores de Ca, Zn e Fe e não afeta os de Mg (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000). Este trabalho, teve representatividade de Mg em todos os testes realizados, principalmente na relação Volume x Nutrientes totais dos compartimentos da planta e Nutrientes totais da folha x Volume (Figura 17 e 18).

O Mg possui níveis elevados em folhas de *Eucalyptus* sp., por conta da presença na constituição das clorofilas, mas em excesso pode atuar de maneira antagônica ao K no floema (CAMARGO *et al.*, 2004).

Em relação aos nutrientes de menores pesos em nutrientes totais da folha x volume, o S e o Cu expressaram pouca significância em análise isolada. O S é responsável pela

formação de aminoácidos e de proteínas na fotossíntese, além de ser o nutriente que as plantas apresentaram maior deficiência, tendo acúmulo na parte aérea proporcional ao acúmulo de biomassa no *Eucalyptus* sp. (ROCHA, 2014; ROCHA *et al.*, 2015). A relevância desse nutriente está relacionada com a interação com outros nutrientes, em especial ao N. O Cu, por possuir pouca influência significativa na formação da parte aérea da planta, e o *Eucalyptus* sp. ter baixa demanda por esse nutriente (RODRIGUES, 2010), sendo, portanto, a razão da baixa influência.

A análise conjunta dos nutrientes é necessária para o correto manejo a ser aplicado nas florestas a fim de que se obtenham produções que compatibilizem o máximo potencial produtivo com o máximo econômico. Para tanto, são necessários maiores estudos com validações de campo em observância as tecnologias de aplicação e insumos.

4.7 Conclusão

Para as condições desse estudo pode-se concluir que:

As redes neurais artificiais podem ser utilizadas para estimar volume de árvores de híbridos de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden pelo conteúdo de nutrientes alocados nos compartimentos das árvores;

Os teores foliares de nutrientes, com uso das redes neurais artificiais, podem expressar a matriz nutricional dos compartimentos e predizer o volume das árvores de híbridos de *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*.

REFERÊNCIAS

- 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, 2013.
- ALVES, A. M. C. **Quantificação da produção de biomassa e do teor de carbono fixado por clones de *Eucalyptus* sp., no Pólo Gesseiro do Araripe – PE.** 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.
- BACILIERI, F. S.; REALINO, P. V. O. **Aminoácidos no manejo de pragas e doenças das lavouras.** 2017
- BASTOS, T. X. *et al.* **Características agroclimáticas do município de Paragominas.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, (Documentos, 228). 21p. 2005.
- BELLOTE, A.F.J. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus Grandis* Hill ex- maiden em função da idade: 1 – macronutrientes. **IPEF** n.20, p.1-23. 1980.
- BINOTI, D. H. B. *et al.* Uso da função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diamétrica para plantios de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Rev. Árvore**, v. 34, n.1, p. 147-156. 2010.
- BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L S.; LEITE, H. G. Configuração de redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. **Ciência da Madeira**, v.5, n.1, p.58-67. 2014.
- CAMARGO, M. L. P. *et al.* Nota científica Considerações sobre eficiência nutricional em *Eucalyptus*. **Científica**. v.32, n.2, p.191-196, 2004.
- CARVALHO, D. C. *et al.* Ciclagem de nutrientes de um plantio de *Eucalyptus* sp. em regeneração de espécies nativas no sub-bosque. **Revista Floresta**, v. 47, n. 1, p. 17 - 27, jan. / mar. 2017.
- CUNHA, A. C. M. C. M., **Diagnose nutricional de minicepas e previsão de enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus* sp. por redes neurais.** Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – (EMBRAPA). **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental** / Yeda Maria Malheiros de Oliveira, Edilson Batista de Oliveira, editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema brasileiro de classificação de solos. ed. 5, **rev. e ampl.**, Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
- FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas.** Lavras: UFLA/FAEPE. 2002. 77p.
- GATTO, A. *et al.* Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 635-646, 2003.

- GÖRGENS, E. *et al.* Tendência de crescimento de povoamento de *Eucalyptus* sp. após aplicação de desbaste. **Revista Árvore**, v.31, p.879-885. 2007.
- HAAG, H. P. *et al.* Análise foliar em cinco espécies de *Eucalyptus* sp.s. **An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz [online]**. vol.34, pp.31-44. 1977.
- HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001, 900p.
- INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – (IBÁ). **2015. Banco de Dados**. Disponível em: <www.iba.org>. Acesso em 12 de janeiro de 2020.
- INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - (IBÁ). 2017. Biblioteca <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/Multiplos_Usos_da_Madeira.pdf>. Acesso em 19 de agosto de 2017.
- INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – (IBÁ). **Relatório 2019**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 08 de nov. 2019.
- KURIHARA, C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004, 101 f.
- MACHADO, S.A; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba; A.Figueiredo filho, 2003. 309p.
- MALAVOLTA, E. *et al.* **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo, Pioneira, 1974, 752 p.
- MATOS, G.S.B.; SILVA, G. R.; GAMA, M. A. P.; VALE, R. S.; ROCHA, J. E. C. Desenvolvimento inicial e estado nutricional de clones de *Eucalyptus* sp. no nordeste do estado do Pará. **Acta amazônica**. [s.i]. vol. 42, 4, 491 – 500, 2012.
- MILLER, H.G. Dynamics of nutrient cycling in plantation ecosystems. In: BOWEN, G.D. & NAMBIAR, E.K.S. Nutrition of Plantation Forests. Sydney: **Academic Press**. 1984, p.53-78.
- ÖZÇELİK, R. *et al.* Estimating tree bole volume using artificial neural network models for four species in Turkey. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 3, p. 742–753, 2010.
- ROCHA, J. H. T. **Reflexos do manejo de resíduos florestais na produtividade, nutrição e fertilidade do solo em plantações de *Eucalyptus grandis***. 2014. 123f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.
- ROCHA, J.H.T *et al.* Nutrição e fertilização com enxofre e uso de gesso em plantações de *Eucalyptus* sp.. **IPEF: (Circular Técnica)**. nº 208, p. 01-14. 2015.
- RODRIGUES, F.A.V. *et al.* Disponibilidade de cobre para mudas de *Eucalyptus* sp. em solos de cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**. vol.34, n.6, pp.1923-1932. 2010.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F. NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 447-457, 1999.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembí, SP. **Ciência Florestal**, 3(1), 21-34, 1999.

SILVA, H.D.; FERREIRA, C. A.; CORRÊA, R.S. Teor, Conteúdo e Eficiência de Utilização de Nutrientes em Procedências de *Grevillea robusta*. Embrapa Florestas. **Comunicado técnico**, 165. 2006.

SILVA, M. L. M. *et al.* Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de *Eucalyptus* sp.. **Rev. Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n. 6, 2009, p. 1133 – 1139.

SILVEIRA, R.L.V.A. *et al.* **Exigência nutricional de clones de *Eucalyptus* em relação a boro**. Relatório de pesquisa da Votorantim Celulose e Papel, Luís Antonio, 26p. 2002.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus*. (**Informações Agronômicas**, n. 91). Piracicaba: POTAFOS, 2000, 12 p.

SOUZA, J. T.; FIORENTIN, L. D. Quantificação da biomassa e do carbono em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill Maiden, em Santa Maria, RS. **Unoesc & Ciência - ACET**, Joaçaba, v. 4, n. 2, p. 253-262. 2013.

THIERSCH, A. **Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis***. 1997. 155f. Dissertação (Mestrado em engenharia florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

VIERA, M. *et al.* **Nutrientes na serapilheira em um fragmento de floresta estacional decidual**. Itaara, RS. 2012.

5 ADUBAÇÃO DE PRECISÃO EM PLANTIO CLONAL DO HÍBRIDO DE *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO

O conhecimento da adaptabilidade de materiais genéticos de *Eucalyptus* spp a diferentes condições ambientais, a demanda e a eficiência de conversão de nutrientes em biomassa são indispensáveis para a precisão técnica dos programas de adubação para alta produtividade dos plantios. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a necessidade nutricional no estágio inicial de desenvolvimento do híbrido *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden, na Amazônia Oriental. O Experimento foi instalado no município de Nova Esperança do Piriá, em delineamento em blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições, sendo eles: 0%, 50%, 75%, 100%, 125% e 150% de adubação. O espaçamento entre as plantas foi de 3 x 2,5 metros em parcela de 10 x 12,5 m com 100 plantas em um total de 750 m². Foram realizadas medições das variáveis sobrevivência, crescimento do diâmetro do coleto, diâmetro de copa e altura total. As variáveis foram submetidas à análise de variância (ANAVA) e ao teste SNK para a comparação múltipla de médias ao nível de significância de 5% de erro. As melhores médias foram os tratamento com 100% e o 75% de adubação para o diâmetro do coleto (15,51 e 14,82 mm); diâmetro de copa (105,19 e 94,09 cm); altura total (113,19 e 110,5 cm) respectivamente. Para o crescimento, os melhores resultados foi o com 100%, com coeficiente angular 0,5379; 0,0789 e 0,5888 para as variáveis altura, diâmetro do coleto e diâmetro de copa, respectivamente, seguido do tratamento co 75% com coeficiente angular de 0,4928 para altura, 0,0737 para o diâmetro do coleto e 0,4992 para o diâmetro de copa. Quanto ao ganho o tratamento com 100% de adubação foi o que obteve maior ganho em altura (30%), diâmetro do coleto (8%) e diâmetro de copa (35%), Pelo desenvolvimento diferenciado, o híbrido *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, os melhores níveis de adubação os tratamentos com, 100% e 75% de adubação.

Palavras-chave: Desenvolvimento; adubação mineral; eficiência nutricional.

PRECISION FERTILIZATION IN THE CLONAL PLANT OF *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden IN THE EASTERN AMAZON

ABSTRACT

The knowledge of the suitability of *Eucalyptus* spp genetic materials to different environmental conditions, the demand and the efficiency of conversion of nutrients into biomass are indispensable for the technical precision of fertilization programs for high productivity of plantations. Thus, the objective of this work was to evaluate the nutritional need in the initial stage of development of the hybrid *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden, in the Eastern Amazon. The Experiment was installed in the city Nova Esperança do Piriá, in a randomized block design, with six treatments and four replications, namely: 0%, 50%, 75%, 100%, 125% and 150% fertilization. The spacing between the plants was 3 x 2.5 meters in a 10 x 12.5 m plot with 100 plants in a total of 750 m². Measurements of the variables survival, growth of the diameter of the collection, crown diameter and total height were performed. The variables were subjected to analysis of variance (ANAVA) and the SNK test for multiple comparison of means at the level of significance of 5% error. The best averages were 100% treatment and 75% fertilization for the collection diameter (15.51 and 14.82 mm); crown diameter (105.19 and 94.09 cm); total height (113.19 and 110.5 cm) respectively. For growth, the best results were 100%, with a 0.5379 slope; 0.0789 and 0.5888 for the variables height, stem diameter and crown diameter, respectively, followed by treatment with 75% with angular coefficient of 0.4928 for height, 0.0737 for the diameter of the stem and 0.4992 for the canopy diameter. As for the gain, the treatment with 100% fertilization was the one that obtained the highest gain in height (30%), stem diameter (8%) and crown diameter (35%). Due to the different development, the hybrid *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, the best fertilization levels the treatments with, 100% and 75% fertilization..

Keywords: Development; mineral fertilization; nutritional efficiency.

5.4 Introdução

O número elevado de espécies e clones de *Eucalyptus* sp. de diversas procedências e origens viabiliza a ampla plasticidade fenotípica das espécies desse gênero nas mais variadas condições edafoclimáticas, o que, por conseguinte proporciona o atendimento de inúmeros nichos econômicos (PINTO *et al.*, 2011).

Atualmente, no Brasil, o *Eucalyptus* sp. é a espécie florestal exótica cultivada em larga escala, ocupando aproximadamente 5,7 milhões de hectares (IBÁ, 2019). Muito se deve a sua capacidade de suprir as demandas das indústrias de produção de papel, celulose, painéis, madeira maciça, laminados, biomassa, entre outros usos (IBÁ, 2019).

Diante da alta capacidade de adaptação de híbridos de *Eucalyptus* sp. nas mais variadas condições ambientais e geográficas do país, tornou-se importante o manejo de outros fatores que possam limitar a produtividade dos empreendimentos florestais. Devido a essas questões, o conhecimento dos aspectos ligados à demanda nutricional e a capacidade desses materiais em transformar os nutrientes absorvidos em biomassa é indispensável para a determinação de teores de fertilizantes a serem disponibilizados aos vegetais. A partir desse conhecimento, é possível criar programas de adubação específicos, sobretudo aos fertilizantes sensíveis as propriedades do solo, que são vistos como os de maior interesse nos estágios iniciais de crescimento e desenvolvimento vegetal (BARROS *et al.*, 1990; SANTANA *et al.*, 2002; GOMES *et al.*, 2008).

Com isso, o manejo da adubação em empreendimentos florestais é de grande relevância para o sucesso da produção florestal, principalmente, no planejamento técnico e logístico de toda cadeia produtiva da silvicultura. Esse manejo corrobora nos ajustes nutricionais requeridos pelos povoamentos florestais, com intuito de reduzir custos e aumentar a precisão técnica (PINTO *et al.*, 2011).

No entanto, isso só é possível através do uso de pacotes de adubação de precisão que considere a influência de fatores bioedafoclimáticos. Dessa forma, é possível obter informações pormenorizadas que auxiliarão nas formulações de fertilizantes minerais em diferentes ou extensas áreas, podendo aludir aspectos limitantes dos nutrientes para as plantas e variações dos volumes produzidos por hectare em plantios florestais (ANDA, 2017).

Geralmente, nas recomendações de adubação utilizadas em plantios, o manejo dos macronutrientes possui maior atenção em relação aos micronutrientes, tais como boro, zinco e ferro, o que é apresentado como fragilidade à sustentabilidade do empreendimento. Isto é agravado pelo igual manejo independente da espécie, material genético, tipo de solo e época

de plantio. As diferenças na eficiência nutricional entre clones de *Eucalyptus* sp. também têm sido observadas em várias pesquisas na literatura, sendo que o entendimento da relação solo e planta pode proporcionar alta eficiência na absorção e utilização de nutrientes. Isso corrobora para a otimização do uso dos fertilizantes no solo e na oferta adequada de nutrientes para as plantas (LIMA *et al.*, 2005; NEVES, 2000; SILVA, 2013; BANDEIRA; DIAS, 2016).

No contexto das práticas silviculturais, a adubação tem uma expressiva participação na matriz de custo do empreendimento, correspondendo em aproximadamente 53% dos custos totais, representando em média R\$ 1.677,47 ha⁻¹ (CIPRIANI *et al.*, 2015; SANTOS; SILVA, 2016).

Nesse contexto, os estudos na região amazônica que visem técnicas para obtenção de diagnósticos nutricionais em plantios clonais de *Eucalyptus* sp. incipientes. Além disso, a definição da melhor interação específica dos teores de adubos que seriam mais eficientemente absorvidos e convertidos em biomassa, bem como a redução dos custos dos empreendimentos florestais são pouco estudadas nessa região.

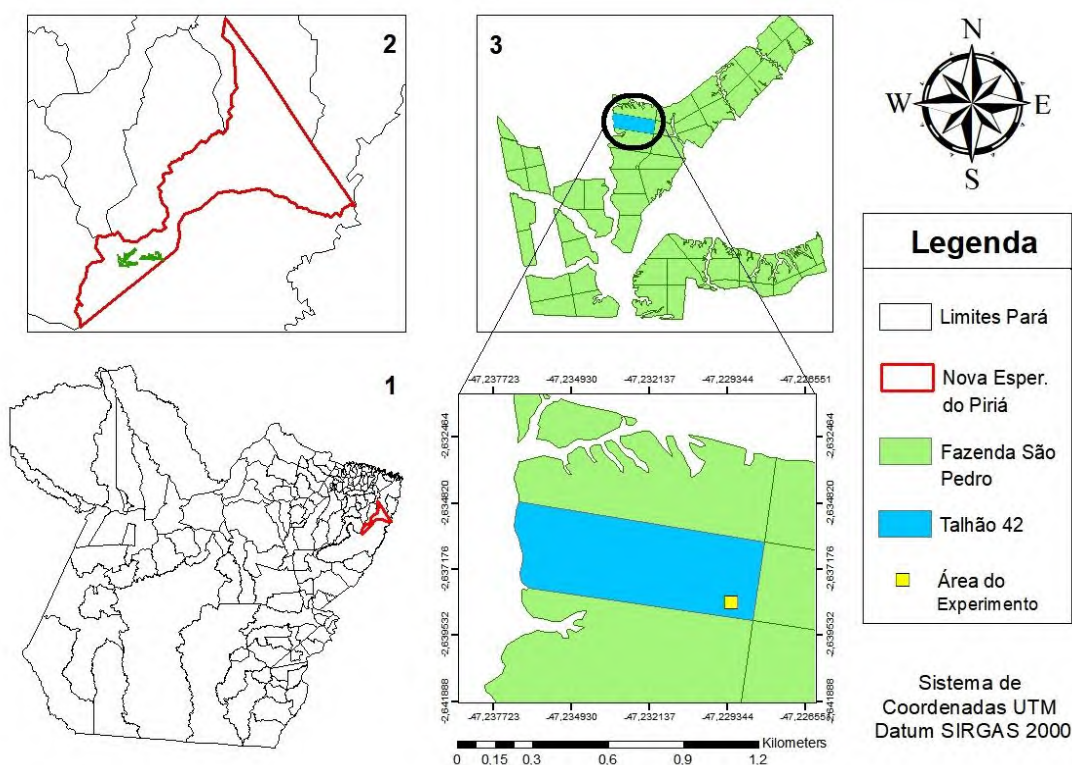
Assim, o estudo buscou elucidar a seguinte questão científica: Quais os níveis nutricionais proporcionarão a maior produtividade volumétrica em *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na Amazônia Oriental? Para tanto, testou-se a seguinte hipótese: O maior desenvolvimento inicial de variáveis dendrométrica em plantios de *E. brassiana* X *E. grandis* será no nível de adubação dado pelos máximos potenciais produtivos de macro e micronutrientes. Desse modo, o experimento teve como objetivo definir o nível de adubação que proporcione o máximo crescimento dendrométrico no estágio inicial de desenvolvimento de um plantio de *E. brassiana* X *E. grandis*.

5.5 Material e métodos

5.5.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado na fazenda São Pedro, talhão 42, situada no município de Nova Esperança do Piriá, PA, pertencente ao grupo Transportadora Floresta do Araguaia (TFA), localizada as margens da estrada Maritaca, com coordenadas geográficas 02°38'19,20'' de latitude Sul e 47°13'26,02'' de longitude Oeste, distante a 84 Km do campus da Universidade Federal Rural da Amazônia em Paragominas, PA (Figura 23).

Figura 23 - Mapa de localização da área experimental na Fazenda São Pedro, no município de Nova Esperança do Piriá-PA, na Amazônia Oriental.



Fonte: Autor (2018).

Alvares *et al.* (2013) definiram o clima da região como do tipo Am segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual acima de 26 °C e pluviosidade anual média entre 1.900 mm e 2.200 mm. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Amarelo de textura argilosa, de acordo com a EMBRAPA (2018).

Seis tratamentos foram instalados, distribuídos em seis parcelas (10 x 12,5 m cada) distribuídas sistematicamente, totalizando uma área de 750 m² (0,075 ha), em que os

indivíduos foram plantados adotando um espaçamento padrão da empresa de 3,0 x 2,5 metros, perfazendo um total de 100 plantas a serem mensuradas.

5.5.2 Amostragem do solo

Para determinação dos atributos físicos e químicos do solo, foi feita uma amostragem seguindo a metodologia de Filizola *et al.* (2006), sendo as amostras coletadas de forma aleatória na área experimental, com auxílio de trado tipo holandês. Para composição da amostra composta, cinco amostras simples foram coletadas no interior de cada parcela na profundidade de 20 cm (Figura 24A e 24B).

Figura 24 - Amostragem do solo (A) para análise química (B).



Fonte: Autor (2018)

5.5.3 Preparo da área

A área foi limpa mecanicamente através da roçadeira de arraste e o solo preparado com a operação de subsolagem sem a aplicação de fertilizantes ou aditivos químicos para não alterar os balanços nutricionais testados na pesquisa. Em seguida, foi realizada a abertura de covas e posteriormente foi feito o plantio das mudas (Figura 25A e 25B).

Figura 25 - Coveamento para o plantio das mudas (A); Plantio das mudas (B), realizadas na fazenda São Pedro, no município de Nova Esperança do Piriá –PA, Amazônia Oriental.

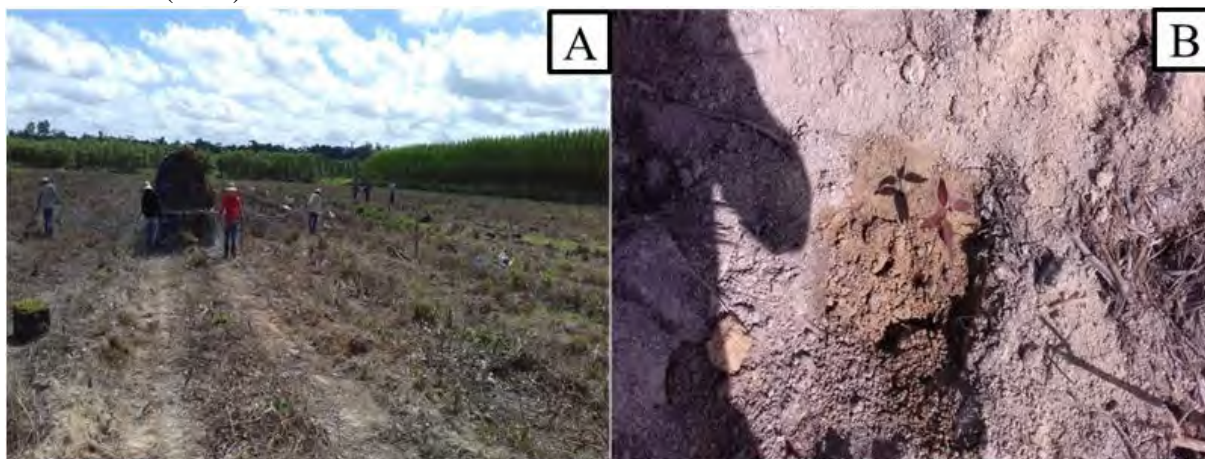


Fonte: Autor (2018).

Após o plantio, irrigações diárias foram realizadas para minimizar os efeitos do balanço hídrico negativo, característico do período de estiagem da região (Figura 26A e 26B).

Figura 26 - Irrigação das mudas (A e B), na fazenda São Pedro no município de Nova Esperança do Piriá –PA, Amazônia Oriental.

Fonte: Autor (2018).



5.5.4 Tratamentos experimentais

A pesquisa contou com seis tratamentos distintos, em que foram aplicadas dosagens diferentes de fertilizantes, contendo concentrações de macro e micronutrientes minerais em porcentagens diferentes para o híbrido de *E. brassiana* X *E. grandis*, calculado a partir do máximo potencial produtivo proposto por Bandeira e Dias (2016), para híbridos de *E. urophylla* x *E. brassiana* manejados na Amazônia Oriental (Tabela 27). A saber:

- Controle 1 (T1): com 0% das quantidades dos nutrientes do máximo potencial produtivo;

- Tratamento 2 (T2): com 50% das quantidades dos nutrientes do máximo potencial produtivo;
- Tratamento 3 (T3): com 75% das quantidades dos nutrientes do máximo potencial produtivo;
- Tratamento 4 (T4): com 100% das quantidades dos nutrientes do máximo potencial produtivo;
- Tratamento 5 (T5): com 125% das quantidades dos nutrientes do máximo potencial produtivo;
- Tratamento 6 (T6): com 150% das quantidades dos nutrientes do máximo potencial produtivo.

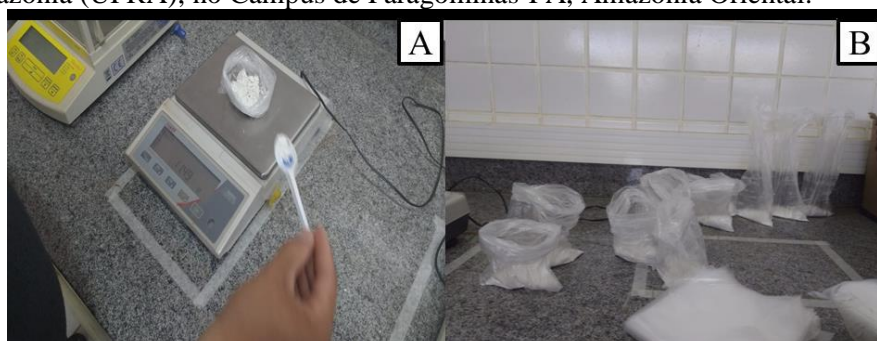
Tabela 27 - Máximo potencial produtivo para o híbrido de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental.

Máximo potencial produtivo (kg ha ⁻¹)									
Nutrientes	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu
Quantidades	209,30	58,00	453,10	315,70	70,20	24,70	1,89	2,95	2,77

Fonte: Adaptada de Bandeira; Dias, 2016.

A primeira aplicação dos fertilizantes ocorreu dez dias após o plantio das mudas, onde foram aplicadas quantidades proporcionais de cada nutriente, providas pelos fertilizantes NPK (10-27-10), Geox na composição (60% de CaO e 30% MgO) e Fosfato Natural Reativo (FNR – 32% de P₂O₅ total).). Cada fertilizante foi devidamente pesado com a ajuda de uma balança de precisão no laboratório da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), campus de Paragominas e devidamente separados em sacos plásticos (Figura 27A e 27B).

Figura 27 - Pesagem (A) e separação dos fertilizantes (B) no laboratório da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), no Campus de Paragominas-PA, Amazônia Oriental.



Fonte: Autor (2018).

A segunda aplicação ocorreu aos três meses após o plantio, sendo utilizados os fertilizantes minerais KCl na proporção (NPK 00-00-60), uréia (NPK 45-00-00), sulfato de magnésio, sulfato de cobre, sulfato de zinco e ácido bórico.

Em todas as aplicações, os fertilizantes foram dispostos a 15 cm de distância das plantas, em covetas laterais de aproximadamente 10 cm de profundidade (Figura 28A e 28B).

Figura 28 - Aberturas das covetas (A) e aplicação dos fertilizantes (B) na Fazenda São Pedro no município de Nova Esperança do Piriá –PA, Amazônia Oriental.



Fonte: Autor (2018).

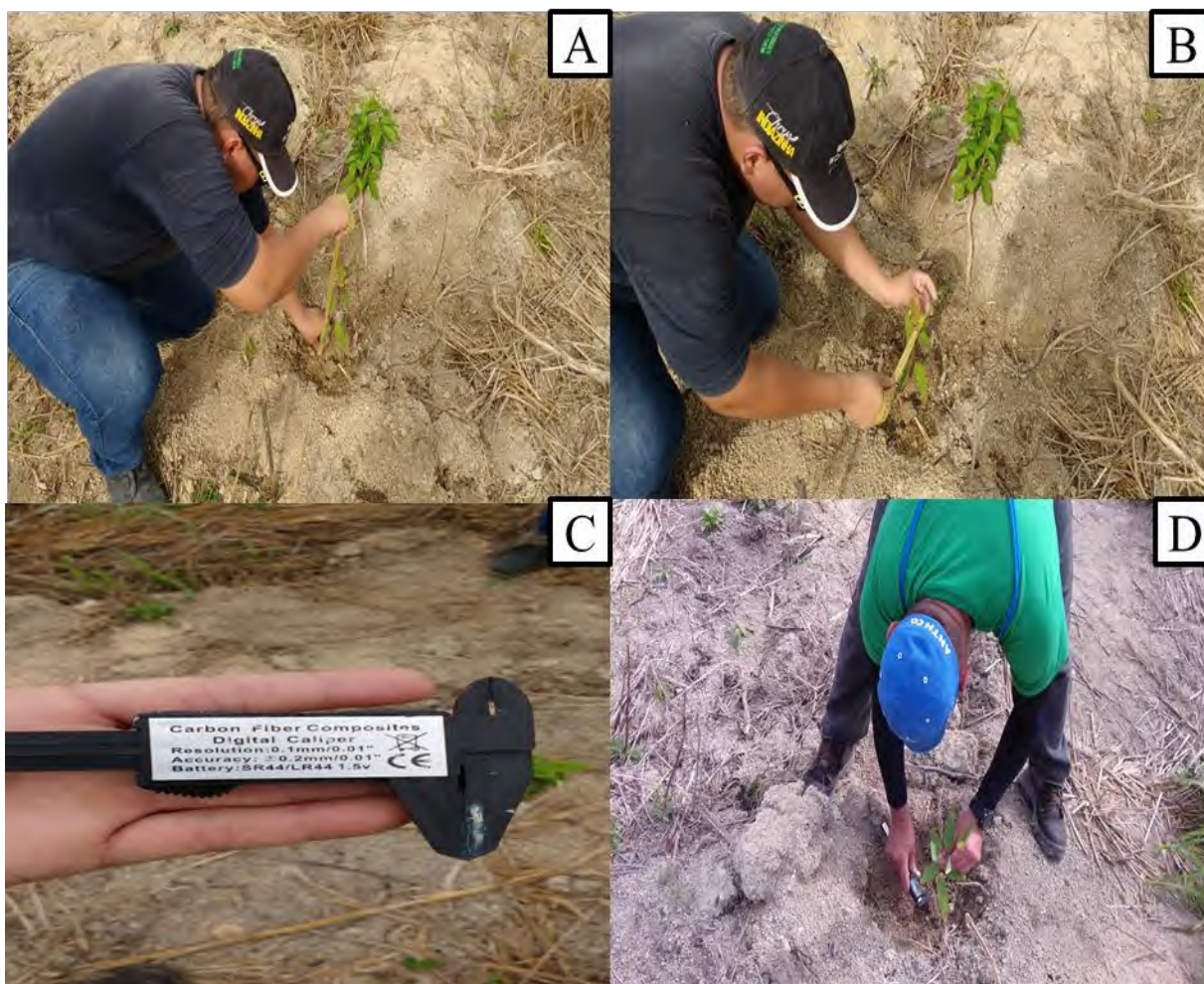
5.5.5 Variáveis analisadas e coleta de dados

As variáveis utilizadas foram à altura total (HT), diâmetro do coleto (D Coleto) e diâmetro de copa (D Copa). Para determinação da HT e D Copa, uma fita centimétrica foi utilizada. Para o diâmetro de copa, duas medições cruzadas acima da copa de cada indivíduo foram realizadas, sendo posteriormente retirada a média aritmética das medidas (Figura 29A e 29B).

Os dados referentes ao D Coleto foram coletados por meio de um paquímetro digital (Figura 29C), que era posicionado a uma altura de aproximadamente 5 cm do nível do solo e feita a leitura do diâmetro de cada indivíduo (Figura 29D).

A primeira coleta de dados ocorreu 10 dias após o plantio das mudas em campo, sendo posteriormente coletados a cada 15 dias.

Figura 29 - Altura total (A); Diâmetro de copa (B); Paquímetro digital (C); Diâmetro do Coleto (D) dos indivíduos analisados na Fazenda São Pedro, no município de Nova Esperança do Piriá –PA, Amazônia Oriental.



Fonte: Autor (2018).

5.5.6 Delineamento experimental e processamento dos dados

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro blocos para o experimento, totalizando 24 parcelas experimentais. Os dados que não tiveram a distribuição normal foram normalizados através do uso do logaritmo na base 10, conforme proposto por Sainane (2012), e analisados pelo teste de Shapiro-Wilk com probabilidade de 5%. Os tratamentos foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e em caso de diferença significativa entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste SNK a 5% de probabilidade de erro.

Para as análises de regressão utilizou-se o *Software Statistica trial 13.0* (2020) para os modelos lineares ou linearizados através do método dos mínimos quadrados ordinários.

Para a definição da dosagem ideal foram ajustadas equações de regressão e derivadas das equações quadráticas igualando-as a zero para obtenção do ponto máximo, referente a dosagens que exprimem o máximo potencial produtivo para o *Eucalyptus* sp..

Para a definição da dose de cada nutriente na expectativa da produção máxima foi utilizada a média ponderada entre a expressividade das variáveis analisadas. Para tanto, calculou-se a soma do produto dos valores das três variáveis de cada nutriente das doses máximas recalculadas, dividida pela soma das médias de cada variável dos tratamentos.

5.6 Resultados e discussão

5.6.1 Avaliação da fertilidade do solo

As médias dos atributos químicos dos nutrientes presentes na área experimental são apresentadas na Tabela 28. Esses valores médios foram comparados com os apresentados na classificação de Silveira *et al.* (1999) (Tabela 29).

Tabela 28 - Atributos químicos do solo da área experimental, na Fazenda São Pedro em Nova Esperança do Piriá, PA.

Profundidade	pH	M.O.	P	K	S	Ca	Mg	B	Zn	Fe	Mn	Cu
	H ₂ O	dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³		mg dm ⁻³				
0- 20 cm	5,38	4,1	0,9	4,9	2,9	2,17	0,72	0,35	1,1	180,07	14,2	0,3
Status	alto	alta	baixo	baixo	baixo	-	-	-	-	alto	-	-

Em que: Matéria Orgânica (M.O.); Nitrogênio (N); Fósforo (P); Potássio (K); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Enxofre (S); Boro (B); Cobre (Cu); Zinco (Zn).

Fonte: Autor (2018).

Tabela 29 - Tabela de classificação das concentrações dos atributos químicos no solo.

Parâmetro	Unidade	Nível		
		Baixo	Médio	Alto
pH	-	<3,9	3,9 – 5	>5,0
M.O.	dag kg ⁻¹	<1,5	1,5 – 4,0	>4,0
P	mg dm ⁻³	<5	5 – 8	>8
K	-	<1	1 - 1,5	>1,5
Mg	-	<2,5	2,5 – 4	>4
Ca	mmolc dm ⁻³	<8	8 – 12	>12
B	-	<0,2	0,2 - 0,4	>0,4
Cu	-	<0,3	0,3 - 0,5	>0,5
Fe	mg dm ⁻³	<15	15 – 25	>25
Mn	-	<0,5	0,5 – 5	>5
Zn	-	<0,25	0,25 - 0,5	>0,5

Em que: Nitrogênio (N); Fósforo (P); Potássio (K); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Enxofre (S); Boro (B); Cobre (Cu); Zinco (Zn).

Fonte: Adaptada de Silveira *et al.* (1999)

Os valores dos atributos químicos do solo são relevantes para o balanço de nutrientes equilibrado entre a matriz edáfica e a demanda de nutrientes específica do vegetal e indicam a necessidade de adubação para o desenvolvimento de plantios de alta produtividade (SANA *et al.*, 2014).

A média encontrada na área do experimento para o valor de pH e matéria orgânica foram considerados altos por Silveira *et al.* (1999) para plantios de *Eucalyptus*. Essa baixa acidez favorece a absorção da maioria dos macro e micronutrientes na solução do solo (SIMONETE *et al.*, 2013). Ademais, o alto teor de matéria orgânica pode elevar os teores de

nitrogênio assimilável no solo, por conta da mineralização desse nutriente ao processo final de decomposição da matéria orgânica, bem como, ao final desse processo, contribuir para a elevação das cargas negativas dos colóides e, por conseguinte, aumentar a capacidade do solo em trocar cátions (BARROS *et al.*, 1990; NOVAIS *et al.*, 2007)

Analisando os valores médios encontrados para o P, os mesmos foram considerados baixos, indicando a carência desse nutriente na área experimental (SILVEIRA, *et al.*, 1999). Esse resultado está de acordo com os valores encontrados por Hamid *et al.* (2015), onde relatam que 61% dos solos do Pará apresentam teores de P abaixo de 6,6 mg dm³. Malavolta (1989) afirma que este elemento é imprescindível para as plantas, pois favorece o crescimento das raízes e a fotossíntese (SILVEIRA; GAVA, 2004), auxiliando no desenvolvimento inicial. O fósforo tem participação nas estruturas dos ácidos nucleicos, dos carboidratos, das membranas celulares, dos ésteres, fosfolipídeos e coenzimas, além de atuar na transferência de várias fontes de energia como a adenosina trifosfato (ATP), sendo que uma das principais deficiências causadas pela falta do fósforo é a clorose das folhas (SILVEIRA; GAVA, 2004).

Para Farella *et al.* (2007), os baixos teores de P podem estar relacionados à sua imobilização nos minerais de argila e nos óxidos de Fe e Al, assim como uma baixa quantidade do nutriente no material de origem.

O K foi o nutriente primário que apresentou as maiores concentrações na área experimental 4,9 mg dm⁻³. Esse elemento é essencial e tem alta demanda pelas plantas na fase inicial do seu desenvolvimento, superando muitas vezes até as demandas de N e P. Para Bellote; Ferreira (1993) a elevada oferta deste nutriente no solo possibilita um maior suprimento das plantas e, por conseguinte, maiores ganhos em altura. Mendes (2011), afirma que, o K está envolvido na fotossíntese, Vitti e Trevisan (2000), complementam que o K participa também da síntese enzimática, processos regulatórios dos estômatos e na prevenção à doenças. Na deficiência de K, ocorre a diminuição na taxa fotossintética por unidade de área foliar e maiores taxas de respiração (SILVEIRA, 2000). Os sintomas da deficiência de potássio surgem nas folhas mais velhas com manchas cloróticas avermelhadas entre as nervuras, o que pode causar necrose e secagem (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000).

Os teores de S foram considerados médios, assim é necessária uma adequada elevação no nível desse elemento por ele ser um nutriente secundário importante, aliado a outros nutrientes como o nitrogênio no desenvolvimento dos vegetais. Segundo Sfredo e Lantmann (2007), o S participa na formação estrutural dos vegetais, composição de alguns aminoácidos, está presente em todas as proteínas vegetais, inclusive enzimáticas e, indiretamente, está envolvido na formação da clorofila.

Os teores de Ca foram considerados altos, o que dentre outros fatores benéficos, pode corroborar para elevação do pH da área somado a um nível de calagem adequado. Esse nutriente apresenta grande relevância no crescimento inicial de plantas, pois atua na composição da parede celular, bem como está presente no processo fotossintético, na divisão de células, no movimento citoplasmático e aumento do volume celular (MALAVOLTA *et al.*, 1997). O Ca é considerado como um dos nutrientes mais absorvido pela maioria das espécies florestais (BARROS *et al.*, 1990; GOMES *et al.*, 2008; LIMA *et al.*, 2005). Em *Eucalyptus* sp. esses teores de cálcio podem chegar a 75% na casca e no tronco e são exportados diretamente do solo a cada ciclo de corte (SIMONETE *et al.*, 2013).

A concentração de Mg no solo foi considerada baixa (Tabela 29), o que pode ser um fator preocupante, já que teor de Ca foi considerado alto e quando a relação Ca/Mg é muito grande, isso pode ser prejudicial para as plantas pela carência de Mg. Assim, a calagem deve ser, prioritariamente, com a de calcário dolomítico, o qual pode elevar as taxas de reposição do Mg no solo. O Mg é conhecido pelo seu importante papel na formação de clorofila e na fotossíntese, assim como no estímulo ao crescimento de raízes e sementes (VALE, 2015). Sua deficiência é percebida no surgimento de folhas amareladas o que diminui a pigmentação da clorofila e afeta diretamente a fotossíntese, o transporte de carboidratos, a respiração celular e as sínteses enzimáticas reduzindo o bom desenvolvimento das plantas (FAVARIN *et al.*, 2012).

O micronutriente B apresentou uma concentração média, o que caracteriza esse solo com uma razoável concentração desse elemento na área experimental, podendo beneficiar as plantas. O boro é fundamental no desenvolvimento dos vegetais, sendo que, sua falta ou excesso no solo tem ocasionado efeitos negativos em florestas implantadas (FILHO *et al.*, 1979).

A concentração de Zn foi alta e isso pode ser um fator benéfico, dentro dos limites tolerados para a espécie. O Zn é considerado o micronutriente mais limitante à produtividade das culturas no Brasil, sendo que os reflexos de sua deficiência são os distúrbios no metabolismo das auxinas, principalmente do ácido indol acético (AIA), fitormônio responsável pelo crescimento das plantas (ROMUALDO, 2008).

O Fe apresentou alta concentração no solo, baixas concentrações deste elemento prejudicam o bom desenvolvimento do sistema radicular, no entanto, ainda ressaltam que em elevadas concentrações solúveis, retarda o crescimento. (FAGERIA *et al.* 1981). O micronutriente está envolvido em vários processos primordiais para o vegetal, como a fixação de nitrogênio, respiração, fotossíntese, síntese de DNA e de hormônios (SAHRAWAT, 2004).

O Mn apresentou um nível alto no solo. Hernandez (2009), afirma que esse nutriente está presente em vários processos metabólicos dos vegetais, como na ativação e constituição de enzimas, e também na fotólise da água dentro dos cloroplastos. É um micronutriente que em falta prejudica o crescimento, desenvolvendo assim sintomas característicos de deficiência (VELOSO *et al.*, 1995).

O micronutriente Cu, apresentou nível médio na área experimental. Segundo Taiz e Zeiger (2004), o micronutriente é fundamental para o metabolismo das espécies vegetais, pois atua juntamente com enzimas no transporte de elétrons na cadeia respiratória e também como cofator de diversas outras reações.

Embora as plantas necessitem em menores quantidades dos micronutrientes, esses são tão importantes quanto os macronutrientes. Sem os micronutrientes, os vegetais não completam funções importantes, pois participam principalmente das funções metabólicas na ativação das enzimas, síntese de proteínas, respiração, fotossíntese, estruturação celular, crescimento entre outras funções (MIFS, 1998). Sfredo e Borkert (2004) mostram que como todos os outros nutrientes as altas concentrações desses micronutrientes podem ser prejudiciais para as plantas, já que existe uma estreita faixa entre a demanda necessária pela planta e a fitotoxidez, proporcionado principalmente pelos altos níveis de pH no solo.

5.6.2 Análise dos dados

Houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados, na qual, observou-se na comparação múltipla das médias que todos os tratamentos que receberam adubação de macro e micronutrientes em níveis variados em porcentagem foram maiores que o T1 (controle) para todas as variáveis mensuradas (Tabela 30). Souza *et al.* (2013), encontraram em seu trabalho resultados semelhantes quando analisaram essas mesmas variáveis com adubação de NPK no grânulo em desenvolvimento inicial do *Eucalyptus platyphylla* no município de Ulianópolis, Sudeste paraense.

Tabela 30 - Comparação múltipla das médias pelo teste SNK, para os tratamentos experimentais, Amazônia Oriental.

Tratamento	D Coleto (mm)	D Copa (cm)	Ht (cm)
T 1	8,97 b	74,75 c	87,05 b
T 2	11,98 a	86,75 bc	93,88 ab
T 3	14,82 a	94,09 ab	110,5 a
T 4	15,51 a	105,19 a	113,19 a
T 5	12,4 a	85,22 bc	95,88 ab
T 6	12,51 a	85,09 bc	101,75 ab
Média	12,55	87,97	99,84
Peso	0,13	0,88	1,00

* Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste SNK no nível de 5% de significância.

Em que: Tratamento 1 (T1); Tratamento 2 (T2) Tratamento 3 (T3) Tratamento 4 (T4) Tratamento 5 (T5) Tratamento 6 (T6); altura total (Ht); diâmetro do coleto (D Coleto) e diâmetro de copa (D Copa)

Fonte: Autor (2018).

Analisando os valores médios para o diâmetro do coleto, é notório que todos os tratamentos que receberam adubação não apresentaram diferença significativa entre si. Resultado semelhante a este pode ser observado no trabalho de Belaparte *et al.* (2013), que avaliando o efeito de doses de N e Ca sobre o crescimento inicial do Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Camb.) constataram que apesar de aplicar diferentes doses de N, os resultados de diâmetro do coleto não mostraram diferenças significativas. O único tratamento que diferiu significativamente dos demais foi o T1 (controle, 0% de adubação) ficando com a menor média 8,97 mm. Essa diferença ocorreu pela falta de adubação no tratamento controle, principalmente de NPK que é requerido em altas demandas pelo *Eucalyptus* sp. nesse estágio inicial de desenvolvimento e crescimento (PINTO *et al.*, 2011). O diâmetro do coleto é uma variável que oferece a maior correlação com a sobrevivência de mudas a campo, um nível nutricional adequado aumenta a robustez do coleto, evita tortuosidade, quebra e tombamento, e o seu bom estado é um fator que determina a qualidade das mudas (CARNEIRO, 1995).

Para o diâmetro de copa, os tratamentos T2 (50% de adubação), T5 (125% de adubação), e T6 (150% de adubação) não se diferenciaram significativamente, onde podemos relacionar esses níveis de adubação com a curva de crescimento e resposta nutricional nos níveis abaixo T2, e excessivos T5 e T6, sendo inadequados para o híbrido em análise. Já o T4 (100% de adubação) obteve a maior média 105,19 cm, mas não diferindo estatisticamente do T3 (75% de adubação) 94,09 cm de média. Barros; Novaes; Neves, (2005) afirmam que o maior acúmulo de nutrientes no *Eucalyptus* sp. na fase juvenil é nas folhas e nos galhos mais finos o que proporciona a formação e o fechamento de copa que é um dos fatores que permite um bom desenvolvimento da planta.

Para a altura total não houve diferença significativa entre o T3 (75% de adubação) e o T4 (100% de adubação), obtendo as maiores médias 110,5 cm e 113,19 cm e os melhores resultados, respectivamente. Essas médias foram superiores as encontradas no trabalho de Matos *et al.* (2012), em que a maior média de altura foi de 96 cm, sob avaliação de cinco clones de *Eucalyptus* sp. em desenvolvimento inicial e estado nutricional. Nos tratamentos T2 (50% de adubação), T5 (125% de adubação), e T6 (150% de adubação) também não houve diferença significativa em altura, assim como para variável diâmetro de copa e diâmetro de coleto.

As doses crescentes de adubação em T2 e T3 ficaram abaixo da produção para o híbrido em questão durante esse período da avaliação, sendo o T4 (100% de adubação) o que melhor respondeu a relação nível de adubação obtendo as maiores médias entre todos os tratamentos e entre todas as variáveis (Figura 30). Já para os tratamentos T5 e T6 com maiores dosagens de adubação os resultados das médias foram inferiores para todas as variáveis em relação ao T4. Isso pode ser causado pelo efeito depreciativo, que é quando a cultura alcançou a sua máxima produção nas condições que está sendo cultivada, mas continua recebendo adubação ou adubação de luxo, até exceder e se tornar fitotóxico provocando o declínio da produção (SILVA; SILVA FILHO; RESENDE, 2007).

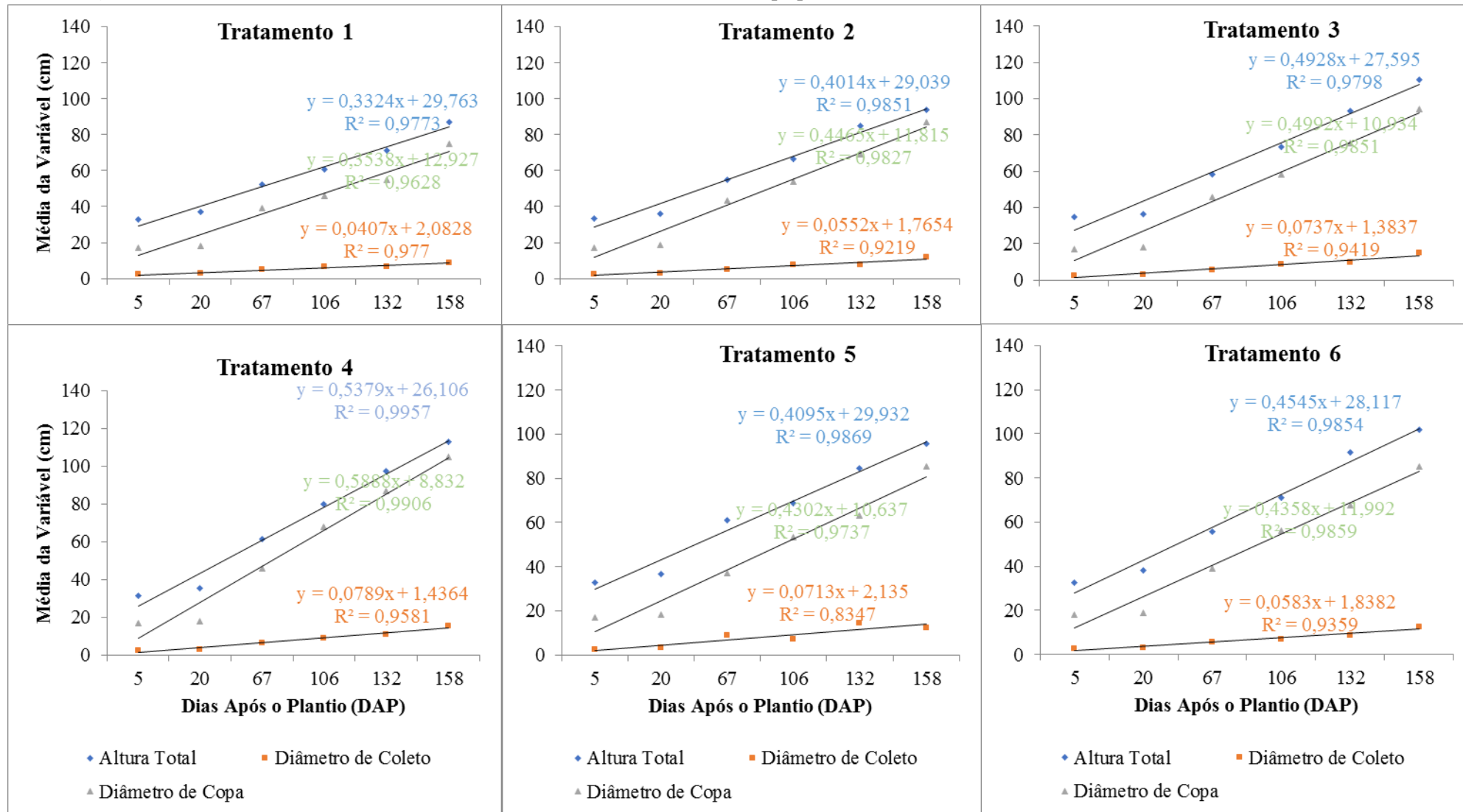
Os tratamentos T5 e T6 que receberam adubações superiores 125% e 150%, respectivamente, não responderam de forma positiva, sendo superados até pelas médias do T3 de adubação a 75%, o que indica a não recomendação desses níveis de adubação para esse híbrido *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*.

Fontes de fósforo como NPK (10-27-10), utilizado na primeira adubação, induzem a formação de um maior volume de sistema radicular, o que possibilita um melhor desenvolvimento inicial da cultura (SILVEIRA; GAVA; 2004).

5.6.3 Taxa de crescimento

Considerando os valores de coeficiente angular de cada tratamento, o T1 obteve os menores valores de coeficientes em relação aos demais, para todas as variáveis analisadas (Figura 30). Com isso, esse tratamento apresentou as menores taxas de crescimento, uma vez que o coeficiente angular é diretamente proporcional a taxa de crescimento. Bassaco *et al.* (2014), em seu experimento com fósforo em híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*, observaram resultados semelhante em relação ao tratamento testemunha, que mostrou os menores valores de diâmetro e altura.

Figura 30 - Taxa de crescimento em altura, diâmetro do coleto e diâmetro de copa para os seis tratamentos testados, na Amazônia Oriental.



Fonte: Autor (2018)

O T4 foi o que obteve a maior taxa de crescimento em todas as variáveis analisadas entre todos os tratamentos, com coeficientes angulares de 0,5379; 0,0789 e 0,5888 para as variáveis altura, diâmetro do coleto e diâmetro de copa, respectivamente. O T3 apresentou as segundas maiores taxas de crescimento, com coeficiente angular de 0,4928 para altura, 0,0737 para o diâmetro do coleto e 0,4992 para o diâmetro de copa.

O fato desses tratamentos terem se destacado com as melhores taxas de crescimento diz respeito à aplicação recomendável de macro e micronutrientes no solo para um crescimento bom do *Eucalyptus* sp. para as condições desse estudo., Na maioria das vezes, o solo não é capaz de fornecer em quantidades adequadas os nutrientes que o vegetal necessita para ter uma boa produtividade, necessitando de adubação para então apresentar um crescimento significativo (GONÇALVES *et al.*, 1995).

Analisando a variável altura apenas entre os tratamentos T2, T5 e T6, observou-se que este último apresentou a maior taxa de crescimento entre os três, pois obteve um coeficiente angular de 0,4545, seguido pelo T5 com um coeficiente angular de 0,4095 e por fim o T2 com 0,4014 de coeficiente.

Analisando o diâmetro do coleto entre T2, T5 e T6, apenas o T5 obteve a maior taxa de crescimento entre os três relacionados, com um coeficiente angular de 0,0713, seguido por T6 com 0,0583 e, por fim, T2 com 0,0552. Já para o diâmetro de copa, o T2 obteve a maior taxa de crescimento entre T5 e T6, com um coeficiente angular de 0,4465, seguido pelo T6 com 0,4358 e por último o T5 com 0,4302.

O T5 e T6, apesar de apresentarem maiores níveis de adubação, foram os que obtiveram baixas taxas de crescimento levando em consideração T3 e T4. Esse comportamento pode ser explicado pela lei do excesso de adubação, em que, o excesso de nutrientes pode também prejudicar a produção das plantas, pois o acréscimo de nutrientes após o nível máximo, pode ocasionar um efeito depreciativo à produção (SILVA *et al.*, 2007). Resultados semelhantes podem ser observados no trabalho de Somavilla *et al.* (2014), que avaliando morfológicamente mudas de cedro australiano sob diferentes doses do fertilizante osmocote plus, verificou que até a dose de 7,9 kg m⁻³ de substrato, as plântulas apresentaram acréscimos em altura e diâmetro, porém quando submetidas a doses maiores do fertilizante apresentaram perdas no incremento da muda.

As baixas taxas de crescimento apresentadas no T2 podem ser explicadas pela lei do mínimo de Liebig, que revela que o crescimento é limitado pelo nutriente que estiver em menor disponibilidade, mesmo que os outros estejam em níveis adequados. A manutenção de

elevadas taxas de crescimento requer adequada suplementação nutricional, mesmo em condições de disponibilidade hídrica elevada (SILVA, 2006).

5.6.4 Ganho em produtividade

O plantio apresentou crescimento em todos os níveis de adubação testados, quando comparados ao T1 (Tabela 31).

Tabela 31 - Ganhos em porcentagem de cada tratamento sob diferentes níveis de adubação, na Amazônia Oriental.

Tratamento	Ht		D Coletor		D Copa	
	cm	%	mm	%	cm	%
T 1	0	0%	0	0%	0	0%
T 2	6,83	8%	3,01	3%	12	14%
T 3	23,45	27%	5,85	7%	19,34	22%
T 4	26,14	30%	6,54	8%	30,44	35%
T 5	8,83	10%	3,42	4%	10,47	12%
T 6	14,7	17%	3,54	4%	10,34	12%

Em que: Tratamento 1 (T1); Tratamento 2 (T2) Tratamento 3 (T3) Tratamento 4 (T4) Tratamento 5 (T5) Tratamento 6 (T6); altura total (Ht); diâmetro do coletor (D Coletor) e diâmetro de copa (D Copa).

Fonte: Autor (2018)

O T4 foi o que obteve maior ganho em altura (30%), diâmetro do coletor (8%) e diâmetro de copa (35%). O T3 foi o segundo com melhores valores de ganhos para as mesmas variáveis. Esses resultados foram semelhantes aos da taxa de crescimentos especificados anteriormente. Bartieres *et al.* (2016), avaliando o desenvolvimento inicial, sobrevivência e composição nutricional das plantas através de testes com hidrogel, calagem e adubação em plantas híbridas de *Eucalyptus* sp., verificaram um ganho de 11,4% para altura em relação ao tratamento controle e 18% para o diâmetro em relação ao tratamento controle.

É possível observar que os tratamentos T5 e T6 apresentaram os mesmos ganhos para as variáveis diâmetro do coletor e diâmetro de copa (4% e 12 % respectivamente), revelando que não obtiveram diferenças significativas para essas variáveis, logo não são recomendados.

5.6.5 Doses máximas recalculadas

Para calcular formulações de recomendação de adubação, inicia-se a partir da interpretação da análise do solo e os valores totais de nutrientes obtidos ou da análise do sistema solo x planta, relacionando os incrementos médios anuais às variáveis da cultura no período avaliado, e a recomendação é dada em kg ha⁻¹ (BARROS *et al.*, 2005; SILVA,

2018). A partir disso, foram encontradas equações de regressão para expressar as doses máximas recalculadas de macro e micronutrientes com relação aos valores obtidos para cada variável correspondente e o valor da média ponderada para as três variáveis (Tabela 32).

Tabela 32 - Doses máximas recalculadas para os macros e micronutrientes para o híbrido *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, em Kg ha⁻¹, na Amazônia Oriental.

Nutriente	Dose Máxima Recalculada (kg ha ⁻¹)			
	Diâmetro do Coletor	Diâmetro de Copa	Altura Total	Média Ponderada
N	289,50	174,21	207,30	197,95
P	55,76	51,59	57,58	54,83
K	405,00	515,00	466,67	484,00
Ca	290,00	246,33	301,50	276,55
Mg	65,29	62,73	69,54	66,28
S	23,44	21,92	24,31	23,21
B	1,80	1,68	1,86	1,78
Cu	2,64	2,46	2,73	2,61
Zn	2,81	2,62	2,91	2,77

Em que: N – Nitrogênio, P- Fósforo, K- Potássio, Ca- Cálcio; Mg- Magnésio, S- Enxofre, B- Boro, Cu - Cobre, Zn- Zinco.

Fonte: Autor (2018).

A média ponderada que vai expressar o valor real de cada nutriente a ser recomendado pelas doses máximas recalculadas, ou seja, o valor recomendado de cada nutriente para o híbrido *E. brassiana* x *E. grandis*, em kg ha⁻¹ a ser aplicado na fase inicial de desenvolvimento, foi definida a partir das equações de regressão das funções quadráticas do tipo $Y = \beta_0 - \beta_1x + \beta_2x^2$. A primeira derivada foi igualada a zero, em que a constante “x” apresenta o sinal negativo e a variável é o x², para parábolas de concavidade voltada para baixo. Assim, os valores das doses máximas recalculadas para cada nutriente e para as variáveis foram obtidos através da derivação da equação quadrática: $X = (\beta_1) / (2*\beta_2)$ (Tabela 33).

Esse mesmo método do modelo quadrático também foi utilizado no trabalho de Scivittaro *et al.* (2004), para ajuste de dosagens de fertilizantes de liberação lenta e fertilizantes solúveis de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo, em % definidas para cada nutriente em um período de 180 dias, para as variáveis altura, diâmetro do coletor e matéria seca produzida por mudas do porta-enxerto ‘Trifoliata’ em tubete em casa de vegetação da Embrapa em Pelotas-RS. Esses ajustes são necessários para encontrar os valores máximos das dosagens de cada nutriente que visa proporcionar o melhor desenvolvimento da cultura.

Tabela 33 - Modelos quadráticos de equação de regressão ajustados para os macros e micronutrientes para o híbrido *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, na Amazônia Oriental.

NUTRIENTES	VARIÁVEL	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	R ²	F
N	Diâmetro do coleto	$y = 8,7177 + 0,0579x - 0,0001x^2$	0,81	3,21*
	Diâmetro de copa	$y = 73,285 + 0,2439x - 0,0007x^2$	0,68	6,50*
	Altura total	$y = 85,505 + 0,2073x - 0,0005x^2$	0,58	2,09*
P	Diâmetro do coleto	$y = 8,8063 + 0,1896x - 0,0017x^2$	0,74	4,34*
	Diâmetro de copa	$y = 73,778 + 0,8048x - 0,0078x^2$	0,62	0,62*
	Altura total	$y = 86,250 + 0,6564x - 0,0057x^2$	0,5	1,50*
K	Diâmetro do coleto	$y = 8,8063 + 0,0243x - 3E-05x^2$	0,74	4,34*
	Diâmetro de copa	$y = 73,778 + 0,1030x - 0,0001x^2$	0,62	2,46*
	Altura total	$y = 86,250 + ,0840x - 9E-05x^2$	0,5	1,50*
Ca	Diâmetro do coleto	$y = 8,8063 + 0,0348x - 6E-05x^2$	0,74	4,34*
	Diâmetro de copa	$y = 73,778 + 0,1478x - 0,0003x^2$	0,62	2,46*
	Altura total	$y = 86,25 + 0,1206x - 0,0002x^2$	0,5	1,50*
Mg	Diâmetro do coleto	$y = 8,8063 + 0,1567x - 0,0012x^2$	0,74	4,34*
	Diâmetro de copa	$y = 73,778 + 0,6649x - 0,0053x^2$	0,62	2,46*
	Altura total	$y = 86,250 + 0,5424x - 0,0039x^2$	0,5	1,51*
S	Diâmetro do coleto	$y = 8,8063 + 0,4453x - 0,0095x^2$	0,74	4,34*
	Diâmetro de copa	$y = 73,778 + 1,8897x - 0,0431x^2$	0,62	2,46*
	Altura total	$y = 86,250 + 1,5415x - 0,0317x^2$	0,5	1,51*
B	Diâmetro do coleto	$y = 8,8063 + 5,8197x - 1,6160x^2$	0,74	4,34*
	Diâmetro de copa	$y = 73,778 + 24,6960x - 7,3615x^2$	0,62	2,46*
	Altura total	$y = 86,250 + 20,1450x - 5,4063x^2$	0,5	1,51*
Cu	Diâmetro do coleto	$y = 8,8063 + 3,9709x - 0,7523x^2$	0,74	4,34*
	Diâmetro de copa	$y = 73,778 + 16,8500x - 3,4271x^2$	0,62	2,46*
	Altura total	$y = 86,250 + 13,7450x - 2,5169x^2$	0,5	1,51*
Zn	Diâmetro do coleto	$y = 8,8063 + 3,7286x - 0,6633x^2$	0,74	4,34*
	Diâmetro de copa	$y = 73,778 + 15,8220x - 3,0217x^2$	0,62	2,46*
	Altura total	$y = 86,250 + 12,9060x - 2,2191x^2$	0,5	1,51*

Em que: N – Nitrogênio, P – Fósforo, K – Potássio, Ca – Cálcio; Mg – Magnésio, S – Enxofre, B – Boro, Cu – Cobre, Zn – Zinco; * - F calculado ao nível de 5% de significância

Fonte: Autor (2018).

Os valores dos macros e micronutrientes encontrados pelas doses recalculadas e pelas médias ponderadas das variáveis diâmetro do coleto, diâmetro de copa e altura total para o

híbrido em estudo apresentaram a seguinte sequência de decrescimento $K > Ca > N > Mg > P > S > Zn > Cu > B$. Essa tendência de ordem dos teores de nutrientes é analisada em muitos híbridos de *Eucalyptus* sp. Matos *et al.* (2012), trabalhando com clones de *Eucalyptus* sp., encontraram essa ordem $N > K > Ca > Mg > P > Mn > Fe > Zn > Cu$, nas médias dos nutrientes em concentrações foliares aos 18 meses de idade no nordeste do Pará. Fica clara, portanto, a importância da resposta do eucalito à nutrição com N, K e Ca nesses cultivos. Essas ordens decrescentes divergiram da encontrada por Consensa (2017), ao avaliar um povoamento de *Eucalyptus saligna* com 7 anos de idade, por extração dos nutrientes em compartimentos da árvore, em que apresentou seguinte ordem $Ca > N > K > Mg > S > P > Mn > Fe > Zn > B > Cu$. Essas variações na comparação da ordem demandas dos nutrientes podem ser explicadas pelas idades e por ser em híbridos de espécies diferentes.

No trabalho de Oliveira (2017), com 4 clones (*E.urophylla* x *E. sp.*; *E. grandis* x *E. camaldulensis*; *E. urophylla* e; *E. urophylla* x *E. tereticornis*), analisando o crescimento e eficiência nutricional, no que tange a demanda na utilização de nutrientes cultivados em três regiões edafoclimáticas de Minas Gerais, esse autor encontrou diferentes níveis de demanda por nutriente e eficiência nutricional para cada clone por compartimento da árvore, tronco, lenho casca, área foliar, o que se pode afirmar que essa ordem de acúmulo dos nutrientes foi influenciada pela interação entre o genótipo e o ambiente.

Silva (2013), em seu trabalho com três tipos de clones de *Eucalyptus* sp. cultivados na região de Três Marias no Estado de Minas Gerais, avaliando a produtividade, demanda e eficiência nutricional aos 84 meses de idade, encontrou o conteúdo nutricional médio dos macronutrientes nos compartimento das árvores em $kg\ ha^{-1}$, na ordem decrescente a seguir: Clone GG 50: $N = 921,32 > K = 498,88 > Ca = 403,19 > Mg = 117,55 > S = 79,76 > P = 42,55$.; Clone GG 100: $K = 520,59 > N = 513,44 > Ca = 246,68 > Mg = 52,72 > P = 52,48 > S = 47,59$; Clone GG 157: $N = 449,56 > Ca = 410,05 > K = 370,43 > P = 79,12 > Mg = 56,14 > S = 51,68$. Os valores de $P > Ca > Mg$, para os três clones se aproximaram proporcionalmente com os valores encontrados das doses máximas calculadas para esses nutrientes. Já os valores de $N > K > S$ foram bem superiores aos valores encontrados das doses máximas calculadas na presente pesquisa.

Nesse sentido, várias literaturas mostram que as demandas por absorção de nutrientes estão relacionadas, principalmente, às características das espécies, local de origem, material genético, fatores ambientais e regionais (solo, clima) onde são cultivadas, sendo a eficiência na utilização dos nutrientes relacionada às variáveis de estágios de desenvolvimento das plantas, idade do plantio, oferta de nutrientes (solo e adubação) e funções que os nutrientes

exercem nos compartimentos da cultura como: tronco, lenho, copa e raízes distribuídos ao longo do ciclo vegetativo (BARROS *et al.*, 1990, 2005; BELLOTE; FERREIRA, 1993; GONÇALVES, 1995; LIMA *et al.*, 2005; SOUZA *et al.*, 2013; SILVA, 2018; SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000).

Assim, como cada novo material genético desenvolvido de *Eucalyptus* sp., tende a ter habilidades de adaptação ambiental e demandas diferenciadas de uso dos nutrientes do solo e na adubação, existindo assim grande diferenciação quanto à eficiência de absorção e utilização dos nutrientes, devem ser testados por experimentos antes do material ser implantado em escala comercial, levando-se em consideração as peculiaridades de todas as regiões do Brasil, visando atender a máxima produção (OLIVEIRA, 2017; SILVA *et al.*, 2012; SILVA, 2013).

Nesse contexto, estudos posteriores são necessários para que se acompanhe o crescimento e desenvolvimento do híbrido *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* e assim complementar a avaliação da eficiência nutricional da máxima produção em escala comercial.

5.7 Conclusão

Para as condições desse estudo pode-se concluir que:

Os níveis de adubação testados apresentaram foram diferentes no desenvolvimento inicial do híbrido *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*.

Dos cinco níveis de adubação avaliados, as melhores respostas foram para os tratamentos 3 (75% de adubação) e 4 (100% de adubação). O tratamento 4 apresentou as melhores taxas de crescimento e ganho de produtividade em até 35%.

Os valores encontrados de macro e micronutrientes para proporcionar a máxima produção do híbrido *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis* foram em ordem decrescente de nutrientes K= 484,00> Ca= 276,75> N = 197,95 > Mg = 66,28> P = 54,83> S = 23, 21> Zn = 2,77> Cu = 2,61> B= 1,78 em kg ha⁻¹.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE J. L.; SENTELHAS P. C.; GONÇALVES J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**; 22(6): 711-728, 2013.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. Harold F. Reetz, Jr. Tradução: Alfredo Scheid Lopes. São Paulo, 2017. 179 p. Disponível em: < <http://www.ufla.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Fertilizantes-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x-1.pdf>> Acesso em: 21 Set. 2018.
- BANDEIRA, R. S.; DIAS, T. S. **Estado nutricional de plantios clonais de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake, na mesorregião sudeste do estado do Pará**. 2016. 48 f. Trabalho de conclusão de curso, (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural Amazônia, Paragominas, 2016.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. **Visão agrícola**. n°4 jul./dez. 2005. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va04-florestas-plantadas06.pdf>> Acesso em: 27 de dezembro de 2018.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Fertilização e correção do solo para o plantio de *Eucalyptus* sp.. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.) **Relação solo-*Eucalyptus* sp.** Viçosa - MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.
- BARTIERES, E. M. M.; CARNEVALI, N. H. De S.; LIMA, E. De S.; CARNEVALI, T. O.; MALLMENN, V. Hidrogel, calagem e adubação no desenvolvimento inicial, sobrevivência e composição nutricional de plantas híbridas de *Eucalyptus* sp.. Colombo: **Pesquisa florestal brasileira**, 2016. 9 p.
- BASSACO, M. V. M.; WALCZAK, A. Crescimento inicial do híbrido *Eucalyptus urograndis* sob diferentes doses de fósforo e gesso agrícola no município de Jaguariaíva – PR. **Revista da União Latino-americana de Tecnologia**, Jaguariaíva, V.2 p. 78-96. 2014.
- BELAPART, D.; LEITE, S. M. M.; GIROTTO, M. D.; PEDRONE, L. P. Efeito de diferentes doses de nitrogênio e cálcio no desenvolvimento inicial do guanandi. **Unimar ciências**, [SI], p. 71-77, 2013.
- BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA C. A. Nutrientes Minerais e Crescimento de Árvores Adubadas de *Eucalyptus grandis*, na Região do Cerrado, no Estado de São Paulo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.26/27, p.17-28, Jan./Dez. 1993.
- CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. Disponível em: < <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca>>. Acesso em: 23 Dez. 2018.
- CIPRIANI, N. H.; VIEIRA, A. H.; MENDES, A. M.; MARCOLAN, A. L. **Há sempre resposta à adubação de manutenção do *Eucalyptus* sp.? Um estudo de caso em porto velho (Ro)**. EMBRAPA, 2015. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2462671/artigo-ha-sempre-resposta-a-adubacao-de-manutencao-do-Eucalyptus-sp.--um-estudo-de-caso-em-porto-velho-ro>>. Acesso em: 18 Jan. 2019.

CONSENSA, C. B. **Implicações silviculturais da colheita da biomassa e da remoção de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus saligna***. 2017. 100 f. Tese (doutorado em Engenharia Florestal-Silvicultura) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria, RS. 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema brasileiro de classificação de solos. ed. 5, **rev. e ampl.**, Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

FAGERIA, N. K.; FILHO, M. P. B.; CARVALHO, J. R. P. De. Influência de ferro no crescimento e na absorção de P, K, Ca e Mg pela planta de arroz em solução nutritiva. **Pesquisa agropecuária**, Brasília, p. 483-488, Jul./Ago. 1981.

FARELLA, N.; DAVIDSON, R.; LUCOTTE, M.; DAIGLE, S. Nutrient and mercury variations in soils from family farms of the Tapajós region (Brazilian Amazon): Recommendations for better farming. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, P. 449–462. 2007. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.882.6140&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 19 Jan. 2019.

FAVARIN J. L., NETO A. P., TEZOTTO T., MARTINS, P. O. TEIXEIRA P. P. C. **Correção do magnésio no solo é essencial ao cafeeiro**. Lavoura em desenvolvimento: rocha calcária é principal fonte de magnésio para correção de acidez do solo. Jacuí, MG, 2012.

FILHO, J. V. De C. R.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. De; SARRUGE, J. R. Influência do boro no crescimento e na composição química de *Eucalyptus grandis*. **E.S.A Luiz de Queiroz**, São Paulo, 36, p. 139-151, Ago. 1979.

FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 169p.

GOMES, K. C. O.; PAIVA, H. N. De; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; SILVA, S. R. Crescimento de mudas de garapa em resposta à calagem e ao fósforo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.3, p.387-394, 2008.

GONÇALVES, J. L. M.; Recomendações de adubação para *Eucalyptus* e *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**. Piracicaba (15), p. 1 -15. 1995.

HAMID, S. S.; SOUZA, E. S. de.; TEIXEIRA, R. A.; OLIVEIRA, F. J. de.; FERNANDES, A. R. Teores naturais totais e disponíveis de fósforo em Latossolos do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35, 2015, Natal. **Resumos...**

HERNANDES, A. **Influência do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de caramboleira**. 2009. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório 2018**. Disponível em: <<https://www.iba.org/arvores-plantadas>>. Acesso em: 19 jan. 2019.

LIMA, A. M. N.; NEVES, J. C. L.; SILVA, I. R.; LEITE, F. P. Cinética de absorção e eficiência nutricional de K, Ca e Mg em plantas jovens de quatro clones de *Eucalyptus* sp.. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, [SI]. v. 29, n. 6, p. 903-909, 2005.

- MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação**. São Paulo. Agronômica Ceres, 1989.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas, princípio e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MANUAL INTERNACIONAL DE FERTILIDADE DO SOLO. Tradução e adaptação de Alfredo Scheid Lopes – 2 ed., rev. e ampl. – Piracicaba. **POTAFOS**, 1998. 177 p.
- MATOS, G. S. B.; SILVA, G. R. S.; GAMA, M. A. P.; VALE, R. S. do; ROCHA, J. E. C. da. Desenvolvimento inicial e estado nutricional de Clones de *Eucalyptus* sp. no nordeste do Pará. **Acta Amazonica**. vol. 42(4) 2012: p. 491 – 500.
- MENDES, H. S. J. **Comportamento de clones de *Eucalyptus* sp. em resposta a disponibilidade hídrica e adubação potássica**. 2011. 43 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.
- NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e híbridos em plantios clonais de *Eucalyptus* sp. na região litorânea do Espírito Santo**. Campo dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2000.
- NOVAIS, R. F. de.; V, V. H. A.; BARROS, N. F. de.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de ciência do solo**, 2007. 1017 p.
- OLIVEIRA, J. R. **Crescimento, produção e eficiência nutricional de genótipos de *Eucalyptus* sp. em diferentes condições edafoclimáticas de Minas Gerais**. 2017. 150 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2017.
- PINTO, S. I. C.; NETO, A. E. F.; NEVES, J. C. L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B. S. Eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus* sp. na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciências Solo**, Lavras – MG, V. 35, p. 523-533, 2011.
- ROMUALDO, L. M. **Modos de aplicação de zinco no crescimento inicial de plantas de milho e de sorgo em casa de vegetação**. 2008. 54 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.
- SAHRAWAT, K. L. Iron toxicity in wetland rice and the role of other nutrients. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 27, 8, p. 1471–1504, 2004.
- SAINANE, K. L. Dealing with non-normal date. **PM&R (Physical Medicine and Rehabilitation)**. v. 4, n. 12, p. 1001 – 1005, 2012.
- SANA, R. S.; ANGHINONI, I.; BRANDÃO, Z. N.; HOLZSCHUH, M. J. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. **Rev. bras. eng. agríc. ambient. [online]**. 2014, vol.18, n.10, pp.994-100
- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F. De; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* x

Eucalyptus saligna em sítios florestais do Estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.4, p.447-457, 2002.

SANTOS, A. L. C.; SILVA, J. O. **Avaliação econômica de um plantio clonal de *Eucalyptus sp* para produção de celulose na meso região sudeste paraense**. 2016. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Paragominas, 2016.

SCIVITTARO, W.B.; OLIVEIRA, R.P. de; RADMANN, E B. Doses de fertilizante de liberação lenta na formação do porta-enxerto ‘trifoliata’. **Rev. Bras. Frutic**, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 3, p. 520-523. Dez. 2004.

SFREDO, G. J., BORKERT, C. M. **Deficiências e Toxicidades de Nutrientes em Plantas de soja Descrição dos sintomas e ilustração com fotos**. EMBRAPA - Documentos 231, junho, 2004.

SFREDO, G. J.; LANTMANN, Á. F. **Enxofre Nutriente necessário para maiores rendimentos da soja**. 1. ed. Londrina: EMBRAPA, 2007. 6 p.

SILVA, G. G. C. da. **Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamento de *Eucalyptus sp*. em resposta à disponibilidade de água e nutrientes**. 2006. 102 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SILVA, J. S. O.; SILVA FILHO, J. B.; RESENDE, P. L. **Aplicação Econômica de Adubos**. Viçosa – MG, CTP, 2007. 292 p.

SILVA, M. O. P; CORRÊA, G. F; COELHO, L; RABELO, P. G. **Avaliação de Dois Tratamento de Adubação em Plantio de *Eucalyptus sp*. Clonal em Solo Arenoso**. Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 212-222, Mar. 2012.

SILVA, N. F. Da. **Produtividade, demanda e eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus sp*. em regime de alto fuste e talhadia**. 2013. 52 f. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2013.

SILVA, S. B. **Análise de Solos Para Ciências Agrárias**. 2. Ed. – Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018. 167 p.

SILVEIRA, R. L. V. A. de.; GAVA, J. L. Nutrição e Adubação Fosfatada em *Eucalyptus*. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Ed. Potafós, 2004.

SILVEIRA, R. L. V. A. de.; HIGASHI, E. N.; GONÇALVES, A. N.; MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: diagnose visual, foliar e suas interpretações (compact disc). In: Simpósio Sobre Fertilização e Nutrição Florestal: 1999. Piracicaba. **Simpósio Sobre Fertilização e Nutrição Florestal 99: trabalhos**, Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP.

SILVEIRA, R. L. V. A. **Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, cultivadas em solução nutritiva**. 2000. 169 f. Tese (Doutorado em

Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba - SP, 2000.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus*. **Potafos - encarte técnico**. Informações agrônômicas nº 91. Piracicaba, SP. Set. 2000.

SIMONETE, M. A., CHAVES D. M., TEIXEIRA, C. F. A., MORO, L., NEVES, C. U. Fornecimento de cálcio para plantas de *Eucalyptus saligna* por meio de aplicação de resíduo industrial lama de cal. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 37: p. 1343-1351, 2013.

SOMAVILLA, A.; CANTARELLI, E. B.; MARIANO, L. G.; ORTIGARA, C.; LUZ, F. B da. Avaliações morfológicas de mudas de Cedro australiano submetidas a diferentes doses do fertilizante osmocote plus. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v.5, n.4, p.493-498, Out./Dez. 2014.

SOUZA, A. B.; GAMA, M. A. P.; ROCHA, J. E. C.; CABRERA, E.; TEIXEIRA, S. C.; CUNHA L. F. Desenvolvimento inicial de *Eucalyptus* sp. em função da fertilização com adubo NPK no grânulo, Amazônia Oriental (1). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*. 34, 2013. Costão do Santinho Resort, Florianópolis - SC. Ago. 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 113.

VALE, F. **Magnésio**: Importância e necessidades. Informativo Técnico. Adubai Consultoria, 2015. Disponível em:< <http://embracal.com.br/wp-content/uploads/2015/11/Import%C3%A2ncia-Magn%C3%A9sio.pdf>> Acesso em: 24/01/2019.

VELOSO, C. A. C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; CARVALHO, J. G. De. Influência do manganês sobre a nutrição mineral e crescimento da pimenteira do reino (*Piper nigrum*, L.). **Sci. Agric.**, Piracicaba, p. 376-383, Jun. 1995.

VITT, G. C.; TREVISAN W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. **Potafos - encarte técnico**. Informações agrônômicas nº 90. Piracicaba, SP. Jun. 2000.