

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**ANÁLISE NUTRICIONAL DE MUDAS DE *Apuleia
leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr. SOB DIFERENTES
DOSES DE N, P e K**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Gisele Gomez de Oliveira

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

**ANÁLISE NUTRICONAL DE MUDAS DE *Apuleia leiocarpa*
(Vogel) J. F. Macbr. SOB DIFERENTES DOSES DE N, P e K**

Gisele Gomez de Oliveira

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**

Orientador: Prof^ª. Maristela Machado Araujo

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Oliveira, Gisele Gomez de
ANÁLISE NUTRICIONAL DE MUDAS DE Apuleia leiocarpa
(Vogel) J. F. Macbr. SOB DIFERENTES DOSES DE N, P e K /
Gisele Gomez de Oliveira.-2013.
78 p. ; 30cm

Orientadora: Maristela Machado Araujo
Coorientadores: Mauro Valdir Schumacher , Marlove
Fátima Brião Muniz
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2013

1. Nutrição mineral 2. Mudas florestais 3. Fertilização
4. Grápia I. Araujo, Maristela Machado II. Schumacher ,
Mauro Valdir III. Muniz, Marlove Fátima Brião IV.
Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

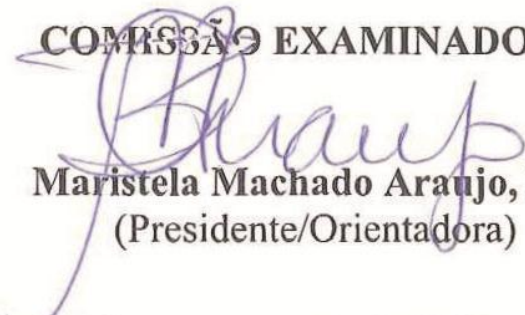
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE NUTRICIONAL DE MUDAS DE *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F.
Macbr. SOB DIFERENTES DOSES DE N P e K**

Elaborada por
Gisele Gomez de Oliveira

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA


Maristela Machado Araujo, Dr^a.
(Presidente/Orientadora)


Igor Poletto, Dr. (UNIPAMPA)


Rejane Flores, Dr^a. (IFF - SVS)

Santa Maria, 18 de Fevereiro de 2013.

Dedico este trabalho ao meu avô,
Ibraim Costeira de Oliveira
(*in memoriam*)
e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Arlimar e Eloisa, e irmãos Geovana, Rogério e Gustavo, meus pilares durante todo o processo de formação.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade de realização do mestrado.

À minha orientadora, professora Dra. Maristela Machado Araujo, pela oportunidade, orientação, parceria, amizade e todo o esforço prestado ao longo deste período.

À CAPES, pela bolsa concedida, fundamental para a efetivação desta pesquisa.

Aos co-orientadores, Dr. Nat techn Mauro Valdir Schumacher e a Dra. Marlove Fátima Brião Muniz, pelas colaborações no desenvolvimento deste estudo.

Aos professores Dr. Igor Poletto e Dr^a. Rejane Flores pela disponibilidade em participar da banca de avaliação, contribuindo para qualificação deste trabalho.

Aos amigos Suelen Carpenedo Aimi e Fernando Cunha pelo companheirismo e cumplicidade durante toda execução do experimento até o dia da defesa.

Aos funcionários do Viveiro Florestal: Seu Élio, sempre incansável em ajudar e facilitar o andamento dos trabalhos com conversas sábias; ao Gervásio, que sempre esteve por perto, olhando a tudo e a todos; à Maria, que com palavras doces sempre acalmou e orientou nos momentos difíceis; e Seu João pela convivência e auxílio nos trabalhos e amizade.

Aos colegas e amigos do laboratório, Álvaro, Jessé, Thairini, Eduardo, Gisele, Viviani, Mariana, Márcio e Thaíse pela ajuda, convívio e amizade.

À secretária do PPGEF/UFSM, Tita, pelo apoio e amizade.

À acadêmica Patrícia Mieth bolsista (FIPE/UFSM) no projeto, pela ajuda durante condução dos experimentos.

Ao colega Flávio Laureano pela ajuda na instalação do experimento e carinho.

Ao amigo Jardel que sempre esteve por perto.

Ao amigo Thomas Schroder pela ajuda, paciência e ensinamentos.

Enfim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram na minha formação como pessoa e profissional.

“Nada é suficientemente bom. Então vamos fazer o que é certo, dedicar o melhor de nossos esforços para atingir o inatingível, desenvolver ao máximo os dons que Deus nos concedeu, e nunca parar de aprender”.

Ludwig Von Beethoven

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

ANÁLISE NUTRICIONAL DE MUDAS DE *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr. EM DIFERENTES DOSES DE N, P e K

AUTORA: Gisele Gomez de Oliveira

ORIENTADORA: DRA. MARISTELA MACHADO ARAUJO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 18 de fevereiro de 2013.

Apuleia leiocarpa (grápia) é uma espécie florestal nativa com ampla distribuição no território brasileiro bem como em países vizinhos como Argentina, Bolívia, Paraguai, Peru e Uruguai, habitando preferencialmente as encostas de morros. A madeira é considerada valiosa e é obtida de forma extrativista, sendo que em vista do interesse, ela encontra-se em risco de extinção sendo classificada como vulnerável. Frente a isso, estudos são necessários para subsidiar o cultivo da grápia. O presente trabalho teve como objetivo verificar se há interação entre as doses combinadas de N, P e K, bem como estabelecer parâmetros nutricionais para produção de mudas *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr., a partir da aplicação de diferentes doses dos nutrientes, utilizando um solo Argissolo Vermelho aluminoso ábruptico. As mudas foram produzidas em vasos de polipropileno com capacidade de 2,5 dm³ de solo com diferentes doses de nutrientes. Os tratamentos foram obtidos pela combinação dos níveis de N (50, 100 e 150 mg dm⁻³), P (150, 300 e 450 mg dm⁻³) e K (50, 100 e 150 mg dm⁻³), mais um tratamento testemunha o qual não foi adicionado os nutrientes, resultando num experimento trifatorial desbalanceado, organizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 6 repetições o que resultou em 168 unidades amostrais. Foram avaliadas as variáveis morfológicas altura (H), diâmetro do coleto (DC), relação altura/diâmetro do coleto (H/DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSSR) e massa seca total (MST), além das variáveis área foliar, comprimento radicular e os teores de nutrientes nas folhas. As mudas permaneceram por 120 dias em casa de vegetação com monitoramento de temperatura e umidade relativa. A combinação de diferentes doses de N, P e K mostrou que houve resposta diferenciada no crescimento de mudas de *Apuleia leiocarpa*, em Argissolo Vermelho aluminoso ábruptico. Doses de N interferem no teor de nutrientes na folha. Doses acima de 100 mg dm⁻³ de N interferem negativamente no crescimento de mudas da grápia. O uso de 450 e 150 mg dm⁻³ de P e K, respectivamente, é recomendado para fertilização de grápia em um Argissolo Vermelho aluminoso ábruptico. Estudos complementares com doses intermediárias a 50 e 100 mg dm⁻³ de N devem ser realizados.

Palavras-chave: Nutrição mineral. Mudas florestais. Fertilização. Grápia.

ABSTRACT

Master Course Dissertation
Professional Graduation Program in Forest Engineering
Universidade Federal de Santa Maria

NUTRITIONAL ANALYSIS OF SEEDLINGS *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr. IN DIFFERENT DOSES OF N, P and K

AUTHOR: Gisele Gomez de Oliveira

ADVISER: DRA. MARISTELA MACHADO ARAUJO

Date and Local of Defense: Santa Maria, 18th of February, 2013.

Apuleia leiocarpa (grápia) is a native forest species with wide distribution in Brazil as well as in neighboring countries such as Argentina, Bolivia, Paraguay, Peru and Uruguay, inhabiting preferentially hillsides. The wood is considered valuable and is obtained from extractive way, and in view of the interest, it is in danger of extinction and is classified as vulnerable. Faced with this, studies are needed to subsidize the cultivation of grápia plants. This study aimed to determine whether there is interaction between the combined rates of N, P and K, as well as establishing nutritional parameters for seedlings *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr., From the application of different doses of nutrients, using soil Red Argis soil aluminic abruptic. The seedlings were grown in pots polypropylene capacity of 2.5 dm³ of soil with different doses of nutrients. Treatments were obtained by combining the N levels (50, 100, and 150 mg dm⁻³), P (150, 300, and 450 mg dm⁻³) and K (50, 100, and 150 mg dm⁻³) plus an control treatment which was not added nutrients, resulting in unbalanced factorial experiment arranged in a completely randomized design (CRD) with 6 replicates resulting in 168 sampling units. The variables morphological height (H), stem diameter (DC), height/stem diameter (H/DC), shoot dry matter (SDM), root dry weight (RDW) and total dry matter (MST), and the variables leaf area, root length and nutrient content in the leaves. The seedlings were maintained for 120 days in a greenhouse with monitoring of temperature and relative humidity. The combination of different doses of N, P and K showed that there was a differential response in the growth of seedlings *Apuleia leiocarpa* in Red Argis soil aluminic abruptic. N levels interfere with the content of nutrients in the leaf. Doses above 100 mg dm⁻³ of N interfere negatively on seedling growth of young plants. The use of 450 and 150 mg dm⁻³ of P and K, respectively, is recommended to fertilize grápia plants in Red Argis soil aluminic abruptic. Additional studies with intermediate doses of 50 and 100 mg dm⁻³ of N should be performed.

Keywords: Mineral nutrition. Forest seedlings. Fertilization. Grápia.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Mudras *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr., produzidas em vasos sob diferentes doses de N, P e K, em casa de vegetação. Santa Maria, RS. 2012. 30
- Figura 2 - Crescimento em (a, b) altura (cm) e (c, d) diâmetro do coleto (mm) de mudras de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.) cultivadas em Argissolo Vermelho alumínico abruptico, em função das diferentes doses de N e P aos 30, 60, 90 e 120 dias. Santa Maria, RS. 2012. 36
- Figura 3 - Efeito da aplicação de diferentes doses de N (a) e P (b) na relação altura/diâmetro do coleto (H/DC) de mudras de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), cultivadas em Argissolo Vermelho alumínico abruptico, 120 dias após a emergência. Santa Maria, RS. 2012. 39
- Figura 4 - Diferentes níveis de P analisados nas diferentes doses de N (a) e dos diferentes níveis de K dentro das doses de N (b) para a variável massa seca da parte aérea (MSPA) de mudras de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), aos 120 dias após a emergência. Santa Maria, RS. 2012. 41
- Figura 5 - Efeito de diferentes doses de N (a) e P (b) na produção de massa seca do sistema radicular (MSSR) de mudras de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), cultivadas em Argissolo Vermelho alumínico abruptico, aos 120 dias após a emergência. Santa Maria, RS, 2012. 43
- Figura 6 - Diferentes níveis de P analisados nas diferentes doses de N (a) e dos diferentes níveis de K dentro das doses de N (b) para a variável massa seca total (MST) de mudras de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS. 2012. 45
- Figura 7 - Efeito das doses de N (a) e P (b) na produção de área foliar de mudras de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), cultivadas em Argissolo Vermelho alumínico abruptico, aos 120 dias após a emergência. Santa Maria, RS, 2012. 47
- Figura 8 - Efeito dos níveis de K em doses de N no comprimento radicular de mudras de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), cultivadas em Argissolo Vermelho alumínico abruptico, aos 120 dias após a emergência das plantas. Santa Maria, RS, 2012. 49
- Figura 9 - Conteúdo de nitrogênio nas folhas de mudras de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), cultivadas em Argissolo Vermelho alumínico abruptico, aos 120 dias após a emergência das plantas. Santa Maria, RS, 2012..... 50
- Figura 11 - Conteúdo de enxofre nas folhas de mudras de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), cultivadas em Argissolo Vermelho alumínico abruptico, aos 120 dias após a emergência das plantas. Santa Maria, RS, 2012..... 54

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Análise de variâncias da massa seca da parte aérea (MSPA) de grápia (<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr. Santa Maria, RS. 2012.	68
Apêndice B - Análise de interação N e P por superfície de resposta da interação para a variável massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de grápia (<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS. 2012.	69
Apêndice C - Análise de interação N e K por superfície resposta da interação para a variável massa seca da parte aérea (MSPA) de grápia (<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS. 2012.	70
Apêndice D - Análise de variância da variável massa seca do sistema radicular (MSSR) de grápia (<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS, 2012.	71
Apêndice E - Análise de variância da variável massa total (MST) de grápia (<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS, 2012.	71
Apêndice F - Análise de interação N e P por superfície resposta para a variável massa seca total (MST) de grápia (<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS, 2012.	72
Apêndice G - Análise de interação N e K por superfície resposta da interação para a variável massa seca total (MST) de grápia (<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS, 2012.	73
Apêndice H - Análise de variância da variável área foliar (AF) de grápia (<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS. 2012.	74
Apêndice I - Análise de variância da variável comprimento radicular de mudas de grápia (<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS. 2012.	74
Apêndice J - Análise de interação N e K por superfície de resposta para a variável comprimento radicular de grápia (<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.), Santa Maria, RS. 2012.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Compostos nitrogenados e sua participação em alguns processos.....	25
Tabela 2 - Atributos físicos do solo utilizado no experimento, proveniente de área do campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, RS. 2012.....	31
Tabela 3 - Atributos químicos do solo utilizado no experimento, proveniente de área do campus da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.	31
Tabela 4 - Descrição dos tratamentos utilizados no experimento em vasos com diferentes doses de N, P e K em grápia (<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS.....	32
Tabela 5 – Média das temperaturas (T°) e umidades relativas (UR%) na casa de vegetação durante o período do experimento. Santa Maria, RS, 2012.....	33
Tabela 6 - Teores de nutrientes da parte aérea (folhas) de mudas de grápia (<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.), produzidas em diferentes doses de N, P e K aos 120 dias. Santa Maria, RS. 2012.....	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 <i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.....	16
2.2 Produção de mudas	17
2.3 Nutrição de mudas.....	20
2.4 Nitrogênio	23
2.3 Fósforo	26
2.4 Potássio	27
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1 Caracterização da área do experimento:.....	29
3.2 Aquisição de Sementes	29
3.3 Produção de mudas em vasos	29
3.3.1 Caracterização do Experimento.....	29
3.3.2 Produção de mudas.....	32
3.3.4 Estimativa da biomassa, área foliar, comprimento radicular e análise nutricional	33
3.6 Análise dos dados.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Crescimento de mudas em vasos	35
4.1.1 Altura e Diâmetro do coleto	35
4.1.2 Relação altura/diâmetro do coleto (H/DC).....	38
4.1.3 Biomassa.....	39
4.1.4 Área Foliar e Comprimento radicular.....	46
4.2 Análise nutricional da parte aérea das mudas.....	50
5 CONCLUSÃO.....	58
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
Apêndices.....	68

1 INTRODUÇÃO

A produção de mudas de espécies florestais é uma das fases mais importantes para formação de florestas, seja com o objetivo de formação de povoamentos comerciais, recuperação de áreas degradadas, bem como, para o uso na arborização urbana e de parques. Nos últimos anos, técnicas silviculturais obtiveram grande avanço, principalmente, em vista de investimentos do setor florestal, motivadas pela produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinus*, colocando o Brasil como um dos maiores produtores de florestas plantadas no mundo.

No entanto, de acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), as taxas de desmatamento na América Latina e Caribe continuam alarmantes, ainda que, segundo relatório publicado pela entidade, tenha havida uma desaceleração (FAO, 2011). Segundo a organização, o Brasil possui 13 % da área florestal global, sendo considerado um dos países mais ricos em florestas no mundo. Atualmente, o bioma Amazônia é visto como o mais explorado em território nacional, devido a extração ilegal de madeiras. Contudo, desde o início da colonização do Brasil, o bioma Mata Atlântica, considerado o mais ameaçado, tem passado por diversas modificações de conversão de florestas para outros usos, podendo-se observar, atualmente, um cenário de elevada fragmentação e destruição de habitats, ameaçando a biodiversidade (PINTO et al., 2009).

No Rio Grande do Sul, esse processo teve início em 1824, com incentivos à imigração alemã e o estabelecimento de colônias em áreas florestais. A partir de 1875, a região serrana, coberta pela mata de *Araucaria angustifolia* foi ocupada pelo povo italiano e no final do século XIX, o norte do estado foi ocupado por colônias mistas, com imigrantes de outras partes da Europa. Atualmente, o Estado possui menos de 8% de Mata Atlântica original (SOS MATA ATLÂNTICA, 2011). De acordo com o último inventário realizado no Estado no ano 2000, 17,53 % do território gaúcho é coberto por florestas naturais, um dado muito maior do que o apresentado em 1983 quando 5,3 % de florestas cobriam o Rio Grande do Sul (UFSM/SEMA-RS, 2001). Percebe-se que houve aumento de áreas naturais nas últimas década, indo na contramão de dados relatados pela FAO, no entanto, há muito o que ser feito.

Devido a exploração, muitas espécies foram quase levadas a extinção, pois não houve a preocupação de replantio para manter essas florestas, tornando-se um desafio aos pesquisadores avançar com técnicas de propagação de espécies florestais, tanto para uso em recuperação, bem como na produção comercial de árvores nativas.

No Rio Grande do Sul há um grande número de espécies com potencial madeireiro em estado vulnerável. Dentre essas espécies pode-se citar algumas, consideradas madeira de valor comercial, como *Balfourodendron riedelianum*, *Parapiptadenia rigida*, *Cabralea canjerana*, *Apuleia leiocarpa*, entre outras.

A *Apuleia leiocarpa*, conhecida popularmente como grápia, possui uma ampla dispersão geográfica que compreende desde o estado do Pará até o Rio Grande do Sul, no Brasil e nos países vizinhos como Argentina, Bolívia, Paraguai, Peru e Uruguai. No Rio Grande do Sul, distribui-se principalmente em áreas da bacia do alto Uruguai e Depressão Central, integrando a mata latifoliada sendo considerada como a espécie mais abundante dessas áreas (REITZ; KLEIN; REIS 1988). Entretanto, devido a grande devastação das matas, a grápia apresenta atualmente distribuição descontínua.

Apesar dos estudos em silvicultura de espécies nativas terem avançado nos últimos anos, as informações ainda são insuficientes. De forma geral, essas espécies ainda são produzidas com base no avanço obtido para as exóticas, e a nutrição, por exemplo, segue recomendações utilizadas para *Pinus* e *Eucalyptus* ou “adubação para nativas”. Tais procedimentos ocorrem, principalmente, devido à falta de estudos direcionados às diferentes espécies.

O entendimento da nutrição das mudas é um dos fatores que mais contribui para a obtenção de mudas de qualidade, sendo, normalmente, testada em terra de subsolo, para simular as exigências a campo (GONÇALVES, 2005).

A pesquisa com nutrientes essenciais para plantas cultivadas, principalmente quanto à quantidade desses nutrientes é um dos maiores desafios para produção vegetal. Alguns nutrientes são essenciais para o crescimento das plantas, sendo que na sua ausência, a planta não consegue completar seu ciclo, de tal forma que nenhum outro elemento pode substituí-lo (LARCHER, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Os principais nutrientes devem estar prontamente disponíveis desde o estágio inicial de crescimento, sendo que o suprimento inadequado de minerais ocasionará baixa produção de matéria orgânica (LARCHER, 2000).

O interesse na nutrição de plantas reside no desenvolvimento e a utilização de técnicas de diagnósticos para a avaliação do estado das plantas em relação aos nutrientes essenciais e elementos benéficos.

O uso do solo para análise nutricional é um método comum para avaliações de nutrição de plantas, pois além do suporte físico, ele fornece os nutrientes e é um ambiente

adequado para o desenvolvimento radicular. Assim, convencionou-se, para estudos de nutrição de plantas, o uso de solo (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007).

Em vista do exposto, o objetivo principal deste trabalho consistiu em verificar se o efeito de doses combinadas de N, P e K alteram as necessidades exigidas ou assimiladas de macronutrientes, bem como estabelecer parâmetros nutricionais no desenvolvimento inicial de *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr., em um solo Argissolo Vermelho alumínico abrupto, a partir da interpretação das variáveis morfológicas e análise nutricional.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.

A família das Fabaceae, uma das mais representativas da vegetação do nosso país, conta com numerosas espécies produtoras de madeiras valiosas (MARCHIORI, 1997). Dentre essas espécies, destaca-se a *Apuleia leiocarpa*.

Conhecida com os nomes populares de grápia, garapa, minrajuba, pau-cetim, mulateira, pau-mulato, entre outros nomes, em diversos estados do Brasil, possui uma ampla dispersão geográfica que compreende desde o estado do Pará até o Rio Grande do Sul, no Brasil e nos países vizinhos como Argentina, Bolívia, Paraguai, Peru e Uruguai, habitando preferencialmente as encostas de morros e solos bem drenados (MARCHIORI, 1997; CARVALHO, 2003).

No Rio Grande do Sul, distribuía-se principalmente em áreas da bacia do alto Uruguai e Depressão Central, integrando a mata latifoliada sendo considerada como a espécie mais abundante dessas áreas (REITZ, KLEIN e REIS, 1988). Entretanto, devido a grande devastação das matas, a grápia, atualmente, apresenta distribuição descontínua.

A árvore pode atingir 35 m de altura e 100 cm de diâmetro na idade adulta, com copa corimbiforme, folhas compostas, alternas, imparipenadas; folíolos alternos, elípticos, subcoriáceos e reticulados com tronco cilíndrico pouco tortuoso e alto com casca esbranquiçada (REITZ; KLEIN; REIS, 1988).

A espécie é decídua, semi-heliófita ou de luz difusa, indiferente às condições físicas do solo, sendo considerada pioneira, secundária inicial, tardia ou clímax exigente em luz (CARVALHO, 2003), provavelmente, em função da grande amplitude de ocorrência. A espécie floresce entre agosto e setembro com frutificação entre janeiro e fevereiro sendo que seus frutos permanecem na árvore por muitos meses (LORENZI, 2002).

Estudos de germinação de sementes de *Apuleia leiocarpa* indicam que quando armazenadas em ambiente não controlado apresentam 72% de germinação. A grápia apresenta dormência tegumentar sendo recomendada a imersão em água, escarificação mecânica ou em ácido sulfúrico como tratamento pré-germinativo. As sementes expostas aos tratamentos germinam entre 10 e 30 dias e sem tratamento podem levar até 80 dias (CARVALHO, 2003).

A madeira possui densidade de $0,83 \text{ g cm}^{-3}$, moderadamente pesada, dura, fácil de trabalhar e de longa durabilidade (LORENZI, 2002). Pode ser utilizada em construções, para vigas, barrotes, caibros, marcenaria em geral, decoração de interiores, esquadrias, construções navais, confecções de barris, entre outros usos (REITZ, KLEIN e REIS, 1988). Segundo o autor, a espécie deve ser considerada como valiosa, merecendo estudos sobre a viabilidade de plantios em larga escala.

De acordo com Marchiori (1997), a espécie apresenta boa regeneração natural em florestas secundárias, desenvolvimento satisfatório no interior de capoeiras e não tolera exposição ao sol nos primeiros anos de vida. A grápia pode ser plantada em plantios misto, a pleno sol, associada a espécies pioneiras para melhoria do fuste, além disso, possui capacidade de rebrota.

Segundo o Decreto Estadual n. 42.099/2003 o qual dispõe a listagem final de espécies ameaçadas de extinção no estado do Rio Grande do Sul, a grápia está classificada na categoria de Vulnerável. Esta classificação, possivelmente, está relacionada devido à devastação das florestas na sua área de ocorrência natural e à exploração de sua madeira de maneira extrativista, sem haver reposição por reflorestamento (NICOLOSO et al., 1999).

Fogaça (1999) estudou a resposta à fertilização com NPK para grápia em solo Argissolo Vermelho Amarelo e verificou a influência dos nutrientes no crescimento das mudas. Em estudo com fósforo, enxofre e ferro, em solo Argissolo Vermelho distrófico arênico, Missio (2002) verificou que a alta disponibilidade de fósforo pode causar deficiência de ferro, cobre e zinco em plantas jovens de grápia.

2.2 Produção de mudas

A produção de mudas de espécies florestais é a base da implantação de florestas comerciais, de recuperação de áreas degradadas, da arborização urbana e de parques.

Até os anos 60, não havia escolas de Engenharia Florestal no país e o setor não era desenvolvido. Com a criação do Código Florestal Brasileiro (Lei 4.771/65) e incentivos à produção de florestas, o Brasil passou a se desenvolver na área, pois foi nessa época que as escolas foram criadas, havendo um avanço científico, proporcionando maior conhecimento para produção de mudas, melhoramento genético, métodos de adubação, controle de doenças

e pragas, entre outras atividades, como manejo florestal e tecnologia da madeira (ARAÚJO, 2010). Atualmente, o Brasil é um dos maiores produtores de espécies florestais e, com isso, a obtenção de florestas deve ser iniciada com a aquisição de material genético e fisiológico adequado às condições locais e com as finalidades do projeto.

As técnicas que possibilitam a produção de mudas variam de acordo com a espécie a ser produzida e a infraestrutura do viveiro. A crescente busca de mudas pelo setor florestal, torna os viveiros mais especializados, seja com o uso de equipamentos ou de insumos que permitem a otimização da produção.

Após a fase de viveiros, a implantação requer cuidados e técnicas para melhor crescimento das plantas. Para avaliação das mudas, é necessário classificá-las quanto sua qualidade em virtude da adaptação e crescimento daquelas com melhor padrão de qualidade no plantio definitivo. Durante a produção de mudas no viveiro, devem ser feitas seleções para separar as mudas em classes de tamanho visando maior uniformidade na produção. Os principais critérios adotados para essa seleção variam de acordo com a espécie utilizada e a finalidade a que se destina a muda (REIS et al., 2008).

Em viveiros comerciais, a classificação das mudas em diferentes classes de altura tem sido muito utilizada, para acelerar o crescimento das menores facilitando o manejo da adubação e irrigação. As avaliações em altura e diâmetro contribuem com mais de 83% para a qualidade das mudas, além de serem métodos não destrutivos (CARNEIRO, 1995; GOMES et al., 2002; WENDLIN; PAIVA; GONÇALVEZ, 2005).

O diâmetro está relacionado com o vigor das plantas, pois a média do diâmetro de uma população, em qualquer tempo, pode ser correlacionada com a média do tamanho do sistema radicular. Além disso, caules com maior diâmetro tendem a ter maior brotação, favorecendo o estabelecimento e sobrevivência das plantas a campo (ROSE; CARLSON; MORGAN, 1990). Diversos estudos têm apontado que o diâmetro do coleto é a variável que melhor prediz o desempenho no pós-plantio, indicando a qualidade das mudas, porém ocorrem variações conforme a espécie e condição de plantio (RITCHIE et al., 2010).

Segundo Wendling, Paiva e Gonçalves (2005), em viveiros comerciais, a seleção de mudas para venda se dá, principalmente, pelos diferentes padrões de altura em função da facilidade de controle nas técnicas de produção. No entanto, muitas vezes, pode ocorrer um crescimento exagerado da parte aérea, não sendo acompanhada pelo crescimento em diâmetro do coleto. A avaliação da variável relação altura/diâmetro do coleto (H/DC) indica a qualidade das mudas que apresentam diâmetro do coleto reduzido e alturas elevadas. O valor resultante da divisão da altura da parte aérea pelo seu respectivo diâmetro do coleto expressa

o equilíbrio de crescimento, relacionando esses dois importantes parâmetros morfológicos em apenas um índice, denominado de quociente de robustez, fornecendo informações sobre quanto delgada está a muda. A obtenção desta variável é facilmente obtida sem a destruição das plantas (CARNEIRO, 1995; GOMES et al. 2002).

Assim, considerar o maior valor da relação H/DC não permite classificar a muda como a melhor. Pouco se sabe sobre os valores adequados para a maioria das espécies florestais. Conforme Carneiro (1976), para *Pinus taeda*, a relação H/DC apresenta valores variando de 5,4 a 8,1, os quais são considerados ideais para espécie. Por outro lado, o autor considera que quanto menor for esse valor, maior será a capacidade das mudas sobreviverem e se estabelecerem a campo. Para Paiva e Gomes (2000) a altura da parte aérea das mudas deve estar entre 15 a 30 cm para serem levadas a campo, portanto, pode ser que a partir dessas alturas seja mais correto considerar a relação H/DC como parâmetro de qualidade de mudas.

A fotossíntese é o processo primário para o acúmulo de biomassa, sendo que o incremento pela taxa de fotossíntese pode ser revertido diretamente em ganho econômico por algumas culturas agrícolas e florestais. No aspecto ecológico, ganho em biomassa pode ser traduzido em maior captura de CO₂ da atmosfera. A produtividade das plantas é determinada pela luz interceptada e pela conversão eficiente desta luz em produtos fotossintéticos. A eficiência de conversão, que pode levar a um aumento de biomassa, é determinada por processos fisiológicos e bioquímicos complexos, incluindo a fotossíntese (GIFFORD et al., 1984).

A área foliar das plantas em uma cultura é de grande importância por ser um parâmetro indicativo de produtividade e depende do número, do tamanho das folhas bem como do seu tempo de permanência na planta. O processo fotossintético que ocorre nelas depende da captação de energia luminosa e de sua conversão em energia química. Assim, a superfície foliar da planta é a base do rendimento potencial da cultura e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa, maior será sua produtividade (FAVARIN et al., 2002; MONTEIRO et al., 2005).

A nutrição influencia tanto a taxa relativa de crescimento de uma planta, como a taxa que uma dada área foliar pode assimilar o dióxido de carbono (DAVIDE; FARIA, 2008). Assim, as plantas requerem quantidades adequadas de nutrientes minerais para realizarem os processos fisiológicos básicos, como a fotossíntese, a fim de promover o rápido crescimento e desenvolvimento (JACOBS; LANDIS, 2009).

O crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas sofrem grande influência das condições ambientais, porém a disponibilidade de nutrientes exerce papel

fundamental sobre ambos os parâmetros. O diâmetro das raízes determina o comprimento radicular que a planta pode produzir. Em condições de baixo fornecimento de nutrientes as plantas produzem raízes muito finas (maior comprimento específico), podendo ser demonstrado pela mensuração direta do diâmetro radicular ou pela determinação do comprimento específico das raízes, que é definido como o comprimento das raízes por unidade de massa seca do sistema radicular (FITTER, 1996).

Entretanto, apesar dos vários caracteres morfológicos e fisiológicos estudados, poucos são utilizados operacionalmente, dificultando relacionar quais características obtidas no viveiro confirmam determinada situação ou desempenho no plantio (MEXAL; LANDIS, 1990).

2.3 Nutrição de mudas

As Angiospermas, a partir de seus processos evolutivos, apresentam diferentes estratégias de adaptação, dentre os quais, o acúmulo de compostos de reserva em suas sementes, utilizados para diferentes propósitos, como geração de energia e a produção de matéria prima (proteínas, ácidos nucleicos, carboidratos e lipídeos), responsáveis pela construção de tecidos e células vegetais (BUCKERIDGE et al., 2000). Sem essas reservas, o processo de germinação, provavelmente, seria diferente. Após o processo germinativo, essas reservas ainda permitem que a muda se sustente por um determinado tempo, após isso, é necessário que haja no substrato os nutrientes requeridos pelas plantas.

A pesquisa com nutrientes essenciais para plantas cultivadas, principalmente quanto a quantidade desses nutrientes é um dos maiores desafios para produção vegetal, seja para área agrícola, de produção de alimentos, como para o setor florestal, que vê a necessidade de produção de recursos energéticos, bem como de recuperação de áreas degradadas ao longo dos anos (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Alguns nutrientes são essenciais para o crescimento das plantas. Geralmente, para um elemento ser considerado essencial ele deve seguir alguns critérios. O principal é que o elemento deve ser requerido para que uma planta complete seu ciclo de vida; o segundo é que não há outros elementos que possam substituí-lo e, o terceiro critério é que isto vale para todas as plantas (BARKER; BRYSON, 2007).

Quando um elemento não atender a todos esses requisitos, por exemplo, e for requerido por algumas plantas, o nutriente pode ser considerado benéfico, como é o caso do silício para a resistência a doenças provocadas por fungo (BARKER; PILBEAM, 2007; LARCHER, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Na ausência ou deficiência dos elementos essenciais a planta vai ser impedida de completar seu ciclo, uma vez que seu metabolismo será afetado, levando à planta à morte. Esse critério permite considerar que um elemento presente na planta não evidencia sua essencialidade. Plantas irão acumular elementos que estão em solução, sem relação aos elementos que tenham qualquer papel essencial no metabolismo (BARKER; BRYSON, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Os principais nutrientes devem estar prontamente disponíveis desde os estádios iniciais de crescimento, sendo que um suprimento inadequado de minerais ocasionará uma baixa produção de matéria orgânica (LARCHER, 2000).

Os elementos essenciais são normalmente classificados em macronutrientes (N, K, Ca, Mg, P, S e Si) e micronutrientes (Cl, Fe, B, Mn, Na, Zn, Cu, Ni, Mo) de acordo com a concentração relativa nos tecidos vegetais (BENICASA; LEITE, 2004). Segundo os mesmos autores, é difícil justificar fisiologicamente esta classificação porque, em muitos casos, as diferenças no teor de macro e micro não são tão grandes, sendo que então alguns pesquisadores propuseram classificar os elementos em grupo, de acordo com o papel bioquímico e sua função fisiológica.

Os elementos que constituem o primeiro grupo são o nitrogênio e enxofre. Estes são assimilados por meio de reações bioquímicas responsáveis por formar compostos orgânicos. O segundo grupo, formado por fósforo, silício e boro são importantes na armazenagem de energia ou na integridade estrutural, presentes em tecidos vegetais na forma de fosfato, borato e ésteres-silicato. No terceiro grupo, potássio, cálcio, magnésio, cloro, manganês e sódio completam a lista dos elementos presentes na parede celular, responsáveis entre outros na regulação de potenciais osmóticos. Finalizando, os elementos do quarto grupo formado por ferro, zinco, cobre, níquel e molibdênio são responsáveis por reações que envolvem o transporte de elétrons (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O interesse na nutrição de plantas reside no desenvolvimento e a utilização de técnicas de diagnósticos para a avaliação do estado das plantas em relação aos nutrientes essenciais e elementos benéficos.

Alguns testes são realizados para o estudo da nutrição de plantas, como análise visual, sendo a mais prática; análise de tecidos através de medições diretas da fração não assimilada

do nutriente em folhas, nervuras ou raízes; testes bioquímicos em que atividades enzimáticas específicas podem fornecer indicadores rápidos e sensíveis de deficiências de nutrientes em plantas quando o diagnóstico visual não faz distinção entre as deficiências que produzem sintomas semelhantes; e testes em solos, que permitem avaliar a quantidade de nutrientes disponíveis que as plantas podem absorver a partir de um determinado solo, sendo que as recomendações de fertilizações podem basear-se nos resultados do teste (BARKER e PILBEAM, 2007).

Algumas recomendações servem de base para interpretação de novos resultados. O Quadro 1, adaptado de Malavolta, Vitti e Oliveira (2007), mostra o intervalo considerado adequado para o conteúdo de macronutrientes em espécies florestais.

Quadro 1 - Teores totais de macronutrientes considerados adequados para espécies florestais.

Macronutrientes (g Kg ⁻¹)					
N	P	K	Ca	Mg	S
12 - 35	1 – 2,3	10-14	3-12	1,7-5,0	1,4-2,6

Adaptado de Malavolta, Vitti e Oliveira, (2007). N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre.

O uso do solo para análise nutricional é uma abordagem comum para avaliações de nutrição de plantas. A partir desses estudos pode-se acompanhar o crescimento, desenvolvimento e rendimento vegetal pela capacidade que esses substratos têm para o fornecimento de nutrientes para plantas e sugere as medidas corretivas adequadas. O solo é o veículo mais importante de nutrientes para os vegetais, pois além do suporte físico fornece os nutrientes inorgânicos, a água e um ambiente apropriado para o desenvolvimento radicular. Assim, o uso do solo para o estudo de nutrição de plantas, tornou-se convencional (RAVEN, EVERT e EICHHORN, 2007).

Utilizar a análise de tecido juntamente com esses estudos, sugere uma outra ferramenta para avaliação do estado nutricional das plantas (BARKER e PILBEAM, 2007). O uso da diagnose foliar permite analisar os teores dos nutrientes na biomassa das folhas, visto que é o órgão que melhor representa o estado nutricional das plantas, pois é ali que ocorrem os principais processos metabólicos (FAQUIM, 2002).

A grande maioria dos estudos relacionados com a nutrição de mudas florestais é realizada utilizando aqueles que são considerados os elementos mais requeridos pelas plantas: N, P e K.

Muitos estudos têm sido realizados para esclarecer as necessidades nutricionais de espécies florestais, no entanto, pouco se sabe sobre a ação de cada elemento, seja agindo de forma isolada ou conjunta com outro no processo de crescimento e desenvolvimento das mudas: *Peltophorum dubim* (CRUZ et al., 2011), *Anadenanthera macrocarpa* (GONÇALVES et al., 2008), *Apuleia leiocarpa* (NICOLOSO et al., 1999, 2001, 2007, 2008; MISSIO et al., 2004; FORTUNATO; NICOLOSO, 2004; MISSIO; NICOLOSO, 2005), *Parapiptadenia rigida* (SCHUMACHER; CECONI; SANTANA, 2004), *Carapa guianensis* (NEVES et al. 2004), *Swietenia macrophylla* (WALLAU; SOARES; CAMARGOS, 2008), entre outros.

2.4 Nitrogênio

O nitrogênio (N) é o nutriente mais abundante nas plantas e também o mais exigido, exercendo os efeitos mais rápidos e pronunciados sobre o seu desenvolvimento (COELHO, 1975), pois é utilizado na síntese de proteínas e outros componentes orgânicos (PEREIRA et al., 1981). Nas fases iniciais de crescimento, as concentrações são elevadas em toda a planta. Com o amadurecimento das plantas, as concentrações de nitrogênio tendem a cair, e, geralmente, é independente do fornecimento externo inicial de nitrogênio. O N está disponível na forma N_2 na atmosfera a qual não está disponível diretamente para as plantas, sendo necessária transformação prévia das formas combinadas NO_3^- (nitrato) e NH_4^+ (amônio).

Nitrato e amônio são as principais fontes de nitrogênio para as plantas. Em condições normais, o nitrato é a principal fonte de nitrogênio, uma vez que é facilmente móvel nas plantas e pode ser armazenado nos vacúolos, contudo para ser utilizado na síntese de proteínas e de outros compostos orgânicos em plantas, ele deve ser reduzido a nitrito (NO_2^-), no citosol, através da enzima redutase do nitrato (RN) o qual por sua vez deve ser reduzido em amônio, no plastídio através da enzima redutase do nitrito (RNi). Quando absorvido na forma NH_4^+ , pode ser incorporado diretamente nos compostos orgânicos, como aminoácidos pelas enzimas sintetase da glutamina (GS) e síntese do glutamato (GOGAT), formando glutamina (GLN), glutamato (GLU) e outros aminoácidos e seus metabólitos (CRAWFORD, 1995)

Todas as células vegetais vivas têm a capacidade de reduzir nitrato a nitrito e nitrito a amônio, sendo que a esta redução ocorre nos cloroplastos, utilizando a energia da fotossíntese e da respiração (BARKER; BRYSON, 2007).

Os principais processos responsáveis pela fixação do N_2 atmosférico para formas combinadas são a fixação biológica natural (FBN), a fixação industrial e a fixação atmosférica. Assim, de forma natural as plantas dependem da FBN ou da aplicação de nutrientes industriais como a ureia e na forma mineral como NH_4^+ e NO_3^- . Esta última, predominante em condições naturais, devido ao processo de nitrificação (FAQUIN, 2005). O grau de disponibilidade de N no solo deve ser baseado na análise do teor de matéria orgânica, através da determinação da concentração de carbono orgânico do solo.

Por ser um elemento afetado por uma dinâmica complexa, devido à diversidade das formas químicas, o N não deixa efeitos residuais diretos das adubações, sendo seu manejo um dos mais difíceis (RAIJ, 1991), principalmente em função das altas taxas de perdas do nutriente por volatilização de amônia (NH_3) e lixiviação. O processo de perda por volatilização consiste na passagem da amônia presente no solo à atmosfera. Já a perda de N por lixiviação ocorre como consequência dos processos de transferência do N em profundidade com a água de percolação, estando muito relacionada com a permeabilidade dos solos.

Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira. (1989), o nitrogênio é importante no metabolismo das plantas, principalmente como elemento integrante das proteínas vegetais, em suas relevantes funções como enzima, reserva ou, mesmo, constituinte estrutural. Além das proteínas, compostos como aminoácido (formadores de proteínas), enzimas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos, clorofila, fitohormônios, entre outros, tem o N como elemento na constituição estrutural (Tabela 1)

Tabela 1 - Compostos nitrogenados e sua participação em alguns processos.

Estrutura	Constituinte ou ativador de enzimas	Processo
Aminoácidos e proteínas	Todos (constituintes)	Absorção iônica
Bases nitrogenadas		Fotossíntese
E ácidos nucleicos		Respiração
Enzimas e		Sínteses em geral
Coenzimas		Multiplicação e
Vitaminas		Diferenciação
Glico e lipoproteínas		Celular
Pigmento e		Herança
Produtos secundários		

Fonte: Malavolta (2006).

A carência de nitrogênio restringe o crescimento de todas as partes da planta. A deficiência do elemento reduz a quantidade de proteínas (em geral, enzimáticas e protetoras), diminui a absorção de solutos em função da má formação e funcionamento das membranas, diminui a resistência da parede celular, entre outros (MALAVOLTA, 2006). Como sintomas, uma planta deficiente em nitrogênio parece atrofiada por causa do crescimento restrito dos órgãos vegetativos, além de apresentar clorose em todo o limbo foliar. Se a deficiência se desenvolve durante o ciclo de crescimento, o nitrogênio é mobilizado a partir das folhas velhas e translocado para folhas jovens fazendo com que as folhas inferiores se tornem menos verdes e, no caso de deficiência severa, podem se tornar marrom até a queda. Pelo menos de 25 até 75 % dos teores de nitrogênio das folhas encontra-se nos cloroplastos sendo em sua maioria na forma de proteínas enzimáticas no estroma e lamela. Já o excesso de N pode alterar a relação parte área/raiz, pois apresenta alto índice foliar e pouco sistema radicular (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2009). Diferenças genéticas atribuíveis às espécies ou famílias são fatores que afetam a absorção e metabolismo do nitrogênio e crescimento das plantas em geral.

2.3 Fósforo

Dentre os três macronutrientes mais comumente constantes das fórmulas comerciais utilizadas nas fertilizações, o fósforo (P) é exigido em menores quantidades pelas plantas, porém trata-se do nutriente mais usado em adubação no Brasil. Nas regiões tropicais e subtropicais, há carência do elemento disponível para plantas, pois apresenta forte interação com o solo (adsorção e precipitação), o que reduz a eficiência da adubação fosfatada, limitando a produtividade (RAIJ, 1991).

O fósforo é utilizado totalmente na forma oxidada e hidratada da forma de ortofosfato. Plantas absorvem H_2PO_4^- (dihidrogêniofosfato) ou HPO_4^{2-} (monohidrogênio fosfato) dependendo do pH do meio. No entanto, sob certas condições, as plantas podem absorver fosfatos orgânicos, incluindo os ácidos nucleicos. Uma quantidade absorvida de fósforo inorgânico é rapidamente combinada em moléculas orgânicas a partir da entrada nas raízes ou depois de ser transportado para a parte aérea (TAIZ; ZEIGER, 2009)

A concentração de fósforo requerida para o ótimo crescimento das plantas varia dependendo da espécie e do órgão analisado (FAQUIN, 2005).

O fósforo é absorvido pelas células e rapidamente envolvido em processos metabólicos (MARSCHNER, 1995), tendo participação nas estruturas dos fosfolipídios, ésteres de carboidratos, coenzimas e ácidos nucleicos, no armazenamento e fornecimento de energia (ATP), além de funções oxidativas, que estão associadas com o transporte eletrônico na fase aeróbica da respiração, sendo a energia armazenada na forma de compostos ricos em energia, empregada em reações e processos dos mais diversos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989).

O P é bastante móvel na planta, sendo redistribuído facilmente pelo floema (MARSCHNER, 1995). Em razão disso, os sintomas de deficiência manifestam-se inicialmente nas folhas mais velhas, que podem mostrar cor amarelada ou verde azulada, podendo ocorrer, em algumas espécies, uma tonalidade arroxeada ou com pouco brilho (FAQUIN, 1994; TAIZ; ZEIGER, 2009). No entanto, os sintomas de deficiência de P raramente são conclusivos, pois em baixas temperaturas os sintomas podem estar relacionados à deficiência de nitrogênio devendo ser analisado por meio de análise de tecido.

Devido ao papel do P na vida da planta, participando da síntese e degradação de macromoléculas, como amido, gorduras e proteínas, e de outros inúmeros processos metabólicos, a sua carência se reflete na inibição ou menor crescimento e maturidade das

plantas. Quando em excesso, o fósforo induz a deficiência de micronutrientes como o zinco e o cobre (MARSCHNER, 1995).

A disponibilidade de fósforo tende a ser diminuída com o aumento do tempo de contato do fertilizante fosfatado com o solo. Em solos tropicais e subtropicais, o fósforo é um dos elementos mais limitante a produção vegetal (MALAVOLTA; KLIEMANN, 1985). A importância do fósforo se dá pelo fato de que a maior parte do elemento existente nos solos não se encontra prontamente absorvível pelos vegetais, muitas vezes tornando-se insolúvel ou fixado, mesmo em condições ideais do solo. A eficiência no aproveitamento do fósforo presente no solo é provocada por diferenças na absorção e utilização deste nutriente pelas plantas, sendo essas associadas às características morfológicas e fisiológicas das plantas.

2.4 Potássio

O potássio (K) é o segundo nutriente mais exigido pelas culturas, sendo depois do fósforo o mais consumido como fertilizante pela agricultura brasileira (RAIJ, 1991; FAQUIN, 2005). A liberação deste elemento se dá pela intemperização de minerais importantes como os feldspatos e as micas. Em contraste com outros nutrientes de plantas, tais como N, S e P, praticamente não existem componentes orgânicos conhecidos com K^+ como um elemento de construção em compostos orgânicos. Íons de potássio ativam várias enzimas, as quais também podem ser ativadas por outros cátions (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989; MARSCHNER, 1995). Nas plantas, o potássio é absorvido como K^+ , sendo o cátion mais importante na fisiologia vegetal (RAIJ, 1991). Portanto, as principais funções do potássio na planta são as de ativação enzimática, fotossíntese, transporte de carboidratos, osmorregulação e na abertura e fechamento dos estômatos. O elemento também aumenta a resistência das culturas a certas doenças, por favorecer fortes sistemas radiculares e caulinares (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007).

Grande parte do potássio total da planta se encontra na forma solúvel, tornando a sua redistribuição bastante fácil no floema (FAQUIN, 1994; MARSCHNER, 1995). Assim, em condições de baixo suprimento do nutriente pelo meio, ele é redistribuído das folhas mais velhas para as mais novas e regiões em crescimento; logo, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas velhas caracterizada por clorose, seguida de necrose nas pontas e margens das folhas, havendo ainda acúmulo de putrescina nas regiões lesadas

(MARSCHNER, 1995). A deficiência de K em plantas ocasiona atraso de crescimento, o que muitas vezes impede o reconhecimento do sintoma. A taxa de crescimento dos entrenós é afetada e, algumas espécies de dicotiledôneas podem formar rosetas.

O potássio em tecidos vegetais é quase que exclusivamente presente na forma iônica. Apenas uma parcela muito pequena do total de K é vinculada por ligantes orgânicos através de pares de elétrons. Íons de potássio são dissolvidos nos líquidos de paredes celulares, citosol e organelas tais como cloroplastos e mitocôndrias e, especialmente, nos vacúolos. A partir desta distribuição, segue-se que, quanto maior o conteúdo de K em um tecido, mais água ele contém.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área do experimento:

O trabalho foi desenvolvido no Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais (DCFL) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no município de Santa Maria, RS. O município de Santa Maria localiza-se na região fisiográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, próxima à zona denominada de rebordo do Planalto, a 29° 43' de latitude sul e 53° 49' de longitude oeste e altitude aproximada de 90 metros.

O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, com precipitação média anual de 1.700 mm e temperatura média anual de 18°C, sendo a média das máximas do mês mais quente 32°C, entre dezembro e março, e das mínimas dos meses mais frios, entre junho e setembro de 9°C (BURIOL et al., 1979).

3.2 Aquisição de sementes

As sementes, provenientes de duas árvores, foram adquiridas de uma empresa especializada na venda de sementes florestais, localizada no município de Ijuí, Rio Grande do Sul.

3.3 Produção de mudas em vasos

3.3.1 Caracterização do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação (Figura 1) com registro de umidade e temperatura. A unidade experimental foi constituída por um vaso de polipropileno rígido, contendo 2,5 dm³ de solo o qual foi seco ao ar e peneirado em malha de quatro mm. A

capacidade de campo, deste solo, foi determinada de acordo com Embrapa (1979) e a irrigação realizada diária e manualmente com água destilada.



Figura 1 - Mudas *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr., produzidas em vasos sob diferentes doses de N, P e K, em casa de vegetação. Santa Maria, RS. 2012.

As amostras de solos utilizadas para produção das mudas foram retiradas da camada superficial de solo do tipo Argissolo Vermelho alumínico abruptico, na região de Santa Maria, coletado entre 20-40 cm de profundidade de uma área pertencente ao Jardim Botânico da UFSM. Este solo possui textura arenosa média e baixa saturação por base, de acordo com as análises física e química, demonstradas nas Tabelas 1 e 2. Esses solos são constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais argila de atividade baixa e horizonte B textural (Bt), abaixo do horizonte A. Tem como característica a alta quantidade de alumínio e saturação por base menor que 50%, na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). É importante destacar que são solos que apresentam limitações químicas e físicas, com riscos de erosão e são exigentes em práticas conservacionistas (EMBRAPA, 1999; MARTINEZ; SOUZA, 2009).

Tabela 2 - Atributos físicos do solo utilizado no experimento, proveniente de área do campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, RS. 2012.

Horizontes	Areia %		Silte %	Argila%	Cor úmida
	Total	Fina			
A	34	24	40	25	5YR 4/4
B	15	12	29	55	2,5YR 3/6

*Análises realizadas conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

Tabela 3 - Atributos químicos do solo utilizado no experimento, proveniente de área do campus da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

Hor.	pH	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S*	Al ³⁺	CTC _{efet}	CTC _{pH}	H+Al	V	m
	H ₂ O	mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----								----- % -----
A	4,1	23,8	3,2	0,6	4,5	4,3	8,8	10,7	6,2	42,2	46,7
B	3,8	18,3	1,5	0,2	2,3	7,1	9,4	10,3	8,1	22,0	75,6

*Análises realizadas conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

Foram testados 28 tratamentos (Tabela 3) em esquema trifatorial (3x3x3), sendo que os fatores constituíram de três níveis de N (50, 100 e 150 mg dm⁻³), três níveis de P (150, 300 e 450 mg dm⁻³) e três níveis de K (50, 100 e 150 mg dm⁻³) e mais o tratamento testemunha, o qual não recebeu nenhuma dose de nutriente, formando um experimento desbalanceado. As quantidades determinadas para execução do experimento foram de acordo com Gonçalves et al., 2008. O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com seis repetições, perfazendo 168 unidades experimentais. Os sais utilizados foram: Nitrato de Amônio (NH₄NO₃) P.A, Pentóxido difósforo (P₂O₅) P.A e Cloreto de Potássio (KCl) P.A da marca Vetec®.

Tabela 4 - Descrição dos tratamentos utilizados no experimento em vasos com diferentes doses de N, P e K em grábia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS.

Tratamento	N	P	K	Tratamento	N	P	K
1	Solo sem correção			15	100	300	100
2	50*	150	50	16	100	300	150
3	50	150	100	17	100	450	50
4	50	150	150	18	100	450	100
5	50	300	50	19	100	450	150
6	50	300	100	20	150	150	50
7	50	300	150	21	150	150	100
8	50	450	50	22	150	150	150
9	50	450	100	23	150	300	50
10	50	450	150	24	150	300	100
11	100	150	50	25	150	300	150
12	100	150	100	26	150	450	50
13	100	150	150	27	150	450	100
14	100	300	50	28	150	450	150

* mg dm⁻³

3.3.2 Produção de mudas

O estudo foi conduzido entre os meses de dezembro de 2011 e abril de 2012, com temperaturas médias de acordo com a Tabela 4. Os vasos foram forrados com sacos plásticos, para que não houvesse perda de água, e preenchidos com solo na capacidade de 2,5 dm³. Os nutrientes foram misturados ao solo e, logo após, irrigados até a capacidade de campo para que houvesse a incorporação dos nutrientes no volume total do solo. As sementes receberam tratamento pré-germinativo (solução de 75 % de ácido sulfúrico (H₂SO₄) por cinco minutos) para superação de dormência e semeadas dez sementes de *Apuleia leiocarpa* no centro de cada vaso. A partir deste momento, a irrigação, diária e manual, passou a ser realizada até 60% da capacidade de campo, totalizando 550 mL. Uma vez por semana todos os vasos foram pesados – em balança, da marca Urano® CP 15/1 POP, com divisão de 1g, para calibração da água, e nos outros seis dias, realizada uma média de perda de água pesando-se 10% dos vasos, de maneira aleatória, para irrigação.

Aos 30 dias após a semeadura foi realizado o raleio das mudas excedentes permanecendo a mais central e, então, realizada a avaliação dos parâmetros morfológicos a partir da medição das variáveis altura (H) e diâmetro de coleto (DC), com auxílio de régua graduada (cm) e paquímetro digital (mm), respectivamente, o que permitiu estimar a relação H/DC. As avaliações foram realizadas em um período de quatro meses.

Tabela 5 – Média das temperaturas (T°) e umidades relativas (UR%) na casa de vegetação durante o período do experimento. Santa Maria, RS, 2012.

Mês	T° máx	T° mín	UR% máx	UR% mín
Janeiro	39.8	18.7	91.7	17.8
Fevereiro	42.0	17.9	97.8	19.8
Março	41.4	15.9	97.9	21.0
Abril	34.1	12.1	98.9	28.8

3.3.4 Estimativa da biomassa, área foliar, comprimento radicular e análise nutricional.

A quantificação da biomassa das mudas foi realizada ao final do quarto mês do experimento. A determinação baseou-se na amostragem de quatro mudas por tratamento separadas em parte aérea e radicular. Após a pesagem, as amostras foram colocadas em embalagens de papel pardo, devidamente identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Silvicultura, anexo ao Viveiro florestal do DCFL da UFSM. As raízes foram lavadas em água corrente com auxílio de peneira com malha de 0,84 mm e armazenadas em vidros dentro de uma câmara fria (8-10°C e 90% de UR), devidamente identificados, com 500 mL de solução de álcool (12 %), até o momento das avaliações.

Na determinação da área foliar e comprimento de raízes, utilizou-se as mesmas amostras para determinação da biomassa, sendo processadas antes da secagem do material. As amostras foram levadas para o Laboratório de Silvicultura, onde foram distribuídas sobre uma folha de papel branco A4 prensada por um vidro transparente e então fotografadas, com uma câmera digital da marca SONY modelo DSC-T100, apoiada em uma estrutura com altura fixa de 0,18 m. Em seguida, as imagens foram processadas com o auxílio dos aplicativos IrfanView, para edição das fotos e UTHSCSA, ImageTool for Windows version 3.00[®] (2002).

Após a obtenção das fotografias, as amostras foram encaminhadas para secagem, dentro das embalagens citadas anteriormente, em estufa com circulação de ar forçada a 70 ± 1 °C, por 72 horas e pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), e massa seca total (MST).

Para análise de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, foram separadas amostras de folhas da posição mediana das mudas, ou até atingir 3 g de peso verde (no tratamento testemunha foi utilizada toda a parte aérea, visto que a quantidade de folhas seria insuficiente para análise). Essa posição foi escolhida em função da mobilidade dos nutrientes na folha, evitando as folhas mais velhas e as mais jovens, adaptando-se a metodologia utilizada por (BELLOTE; SILVA, 2005). Após secagem e pesagem, as amostras foram maceradas com auxílio de um gral e um pistilo até que ficassem com frações menores que 1 mm para posterior determinação dos teores de nutrientes. As análises foram realizadas no Laboratório de Ecologia Florestal, do Departamento de Ciências Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria. Os métodos para determinação dos nutrientes foram para N: Kjeldahl; P: espectrometria visível; K: fotometria de chama; S: turbidimetria; Ca e Mg,: espectrofotometria de absorção atômica.

3.6 Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância e determinação da significância dos efeitos principais dos fatores e das interações. Quando a interação dupla foi significativa, ajustou-se superfícies de respostas para a combinação de dois fatores. Os dados foram analisados por meio de regressão polinomial a 5% de probabilidade de erro. No caso de efeito significativo de equações quadráticas, determinou-se a dose de máxima eficiência técnica (DMET). Para essas análises utilizou-se do sistema estatístico SAS (Statistical Analysis System) Versão 9.1 (SAS Institute Inc., 2004).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Crescimento de mudas em vasos

4.1.1 Altura e diâmetro do coleto

Ambas as variáveis, altura e diâmetro, apresentaram efeito significativo para doses de N e P, sendo assim, optou-se pela análise aos 30, 60, 90 e 120 dias, nos quais se observou comportamento quadrático (Figura 2) em função das diferentes doses dos nutrientes. Observa-se na Figura 2, que as doses de máxima eficiência técnica (DMET), estimadas para altura, variaram entre os períodos de avaliação para ambos os nutrientes, permitindo identificar a dose necessária em diferentes períodos de crescimento.

Em relação à altura (H), houve uma pequena variação das doses exigidas de N (Figura 2a) ao longo do crescimento, sendo a menor dose ($87,7 \text{ mg dm}^{-3}$) no início do desenvolvimento e a maior ($91,99 \text{ mg dm}^{-3}$), ao final do período de avaliação. Uma ligeira redução foi constatada no terceiro mês, no entanto com diferenças não significativas em relação ao anterior e posterior. Quanto ao comportamento do P (Figura 2b) novamente a menor DMET foi observada, com $383,48 \text{ mg dm}^{-3}$, no início do desenvolvimento das mudas, no entanto, chama a atenção, a maior necessidade aos 60 dias, atingindo uma DMET de $510,87 \text{ mg dm}^{-3}$ e tendo uma diminuição aos 90 e 120 dias.

Quanto ao diâmetro do coleto (DC), a espécie teve um comportamento semelhante da altura em relação às necessidades nutricionais. A medida do crescimento das mudas, a necessidade de N foi crescente para o N (Figura 2c), sendo constatada a menor exigência aos 30 dias com $30,40 \text{ mg dm}^{-3}$ e a maior aos 120 dias com $87,81 \text{ mg dm}^{-3}$. Em relação ao P (Figura 2d), novamente, a menor DMET foi observada aos 30 dias com $249,21 \text{ mg dm}^{-3}$, alcançando a maior DMET aos 90 dias, com $399,59 \text{ mg dm}^{-3}$.

Ainda na Figura 2, percebe-se que as mudas apresentaram rápido crescimento em alturas em curto período de estudo, confirmando o caráter pioneiro da espécie, na região do estudo.

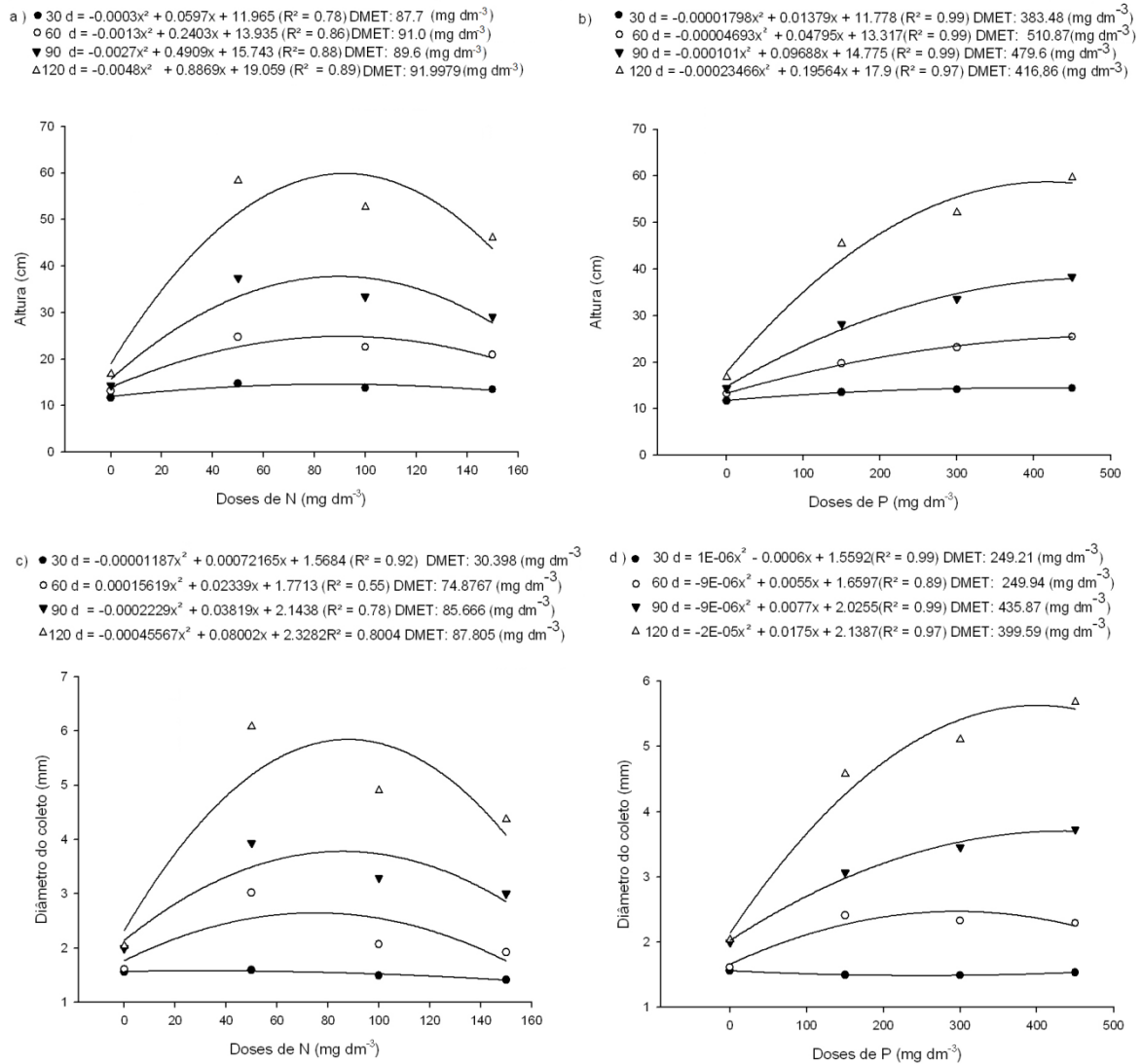


Figura 2 - Crescimento em (a, b) altura (cm) e (c, d) diâmetro do coleto (mm) de mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.) cultivadas em Argissolo Vermelho aluminico abruptico, em função das diferentes doses de N e P aos 30, 60, 90 e 120 dias. Santa Maria, RS. 2012.

Considerando que, em determinados espaçamentos, a planta apresenta primeiramente investimento em altura e logo após em diâmetro, pode-se explicar as maiores DMET de P aos 60 e 90 dias, para altura e DC, respectivamente. Provavelmente isso ocorreu porque a planta teve necessidade da maior alocação deste nutriente para após ter êxito em seu crescimento em ambas as variáveis.

As altas doses de P exigidas durante os períodos de crescimento podem estar associadas à elevada quantidade de alumínio disponível no solo, fazendo com que grande parte do nutriente não esteja disponível (lábil), isto é, aproveitável facilmente pela planta. Possivelmente, diante da calagem, essa dosagem exigida tenderia a uma diminuição, pois com

a neutralização da acidez e consequente elevação do pH, maiores quantidades do elemento ficariam lábeis. Assim, se o solo utilizado tivesse recebido calagem, o fósforo poderia ter sido mais eficiente na nutrição das mudas, contudo, altas dosagens de fósforo também foram observadas em outros estudos.

Em experimento com grápia, Missio et al. (2004) verificaram que, em Argissolo Vermelho distrófico arênico, a DMET para variável altura na adubação fosfatada foi maior que 180 mg dm^{-3} aos 130 dias, esta a maior dose estudada. Contudo a condução do experimento se deu na época de menor crescimento, obtendo altura em torno de 30 cm. Nicoloso et al. (2001) também constataram que a DMET à adubação de P foi, acima da maior dose utilizada 80 mg dm^{-3} . Assim, verifica-se que o valor observado neste estudo, associado a elevada altura (em torno de 60 cm) e diâmetro do coleto (próximo a 5,5 mm), expressam respostas positivas da espécie para adubação fosfatada.

Conforme Larcher (2000), dentro de uma determinada amplitude, a quantidade total adequada de nutrientes pode variar bastante, sem efeito perceptível sobre o rendimento de matéria seca, sendo que um aporte maior de nutrientes, não necessariamente signifique aumento de biomassa. Por outro lado, acima da faixa considerada adequada, pode ocorrer uma concentração excessiva ou deficiência induzida por outro nutriente (FAQUIM, 2002). Desta forma, é provável que doses acima dos valores das DMET, descritos neste estudo, tenham influenciado negativamente no crescimento em altura da grápia.

Percebe-se que as exigências de N no período inicial são baixas em relação aos meses consecutivos, principalmente para o DC, o que, possivelmente, ocorreu devido a reservas contidas nas sementes suprirem a necessidade exigida pela planta. A partir desse momento ocorreu um aumento gradativo do consumo e, conseqüentemente, maior aporte de biomassa tanto em altura como em diâmetro do coleto.

Em experimento com grápia, Nicoloso et al., (1999) perceberam que a partir do terceiro mês de condução do experimento, na ausência de N em solo Argissolo Vermelho Amarelo, a espécie paralisou o crescimento e ocorreu clorose nas folhas mais velhas, corroborando sobre a maior exigência desse nutriente dentro desse período de crescimento.

A assimilação de nitrogênio se dá, principalmente, na parte aérea sendo em parte, conduzido por meio da corrente transpiracional e incorporado às substâncias orgânicas. O nitrato pode ser acumulado, também, no citosol da parte aérea da planta. A energia e a estrutura molecular para a incorporação do nitrogênio são supridas pelo metabolismo dos carboidratos, o qual por sua vez depende da fotossíntese (LARCHER, 2000).

Considerando que as perdas de N, a partir da adubação nitrogenada, ocorrem por volatilização ou lixiviação, e podem ser controladas por meio da aplicação parcelada dos adubos nitrogenados (FERNANDES et al., 2006), é possível que o parcelamento seja realizado de acordo com as necessidades exigidas em cada mês, isto é, uma reduzida adubação de base, misturada ao substrato, devendo ser aumentada de forma gradual ao longo do desenvolvimento das mudas. Apesar das diferenças na exigência nutricional do P ao longo do tempo, sabe-se que a necessidade de parcelamento não é exigida, pois esse nutriente é pouco móvel no solo, sendo, então, possível incorporar a máxima dose exigida na base.

A adubação com potássio não alterou o crescimento das mudas em altura e diâmetro do coleto, provavelmente, por causa dos níveis do elemento no solo, que não são limitantes para a espécie (Tabela 2), pois Fogaça (1999), ao estudar o crescimento de grápia em solo Argissolo Vermelho Amarelo, obteve resposta positiva do K, devido o nutriente apresentar-se baixo e limitante no solo utilizado.

4.1.2 Relação altura/diâmetro do coleto (H/DC)

A análise de variância para a variável relação altura/diâmetro do coleto (H/DC) apresentou diferença significativa nas diferentes doses de N e de P, ambos com comportamento quadrático aos 120 dias. Como pode ser visto nas Figuras 3a e 3b, o valor estimado da relação H/DC ficou próximo de 10, considerado acima do recomendado por Carneiro (1976), que indicou para mudas de *Pinus* valores entre 5,0 e 8,0, sendo que quanto menor a relação, maior será a capacidade das mudas sobreviverem e se estabelecer a campo. Por outro lado, a H/DC ideal não pode ser generalizada para todas as espécies, ao considerar que essas apresentam características morfológicas específicas. De acordo com a análise de regressão, a DMET que resultou em maior relação H/DC foi com 116,41,0 mg dm⁻³ de N (Figura 3 a) e para o P essa dosagem ficou em 406,23 mg dm⁻³ (Figura 3 b).

Como visto na variável altura, aos 120 dias, as mudas atingiram em média 60 cm sendo provável que a oferta de nutrientes tenha ocasionado efeito negativo na fase inicial do crescimento, causando estiolamento nas mudas de grápia, uma vez que os valores considerados ideais para que as plantas sejam levadas a campo devam estar entre 20 e 35 cm conforme Scremin-Dias et al. (2006).

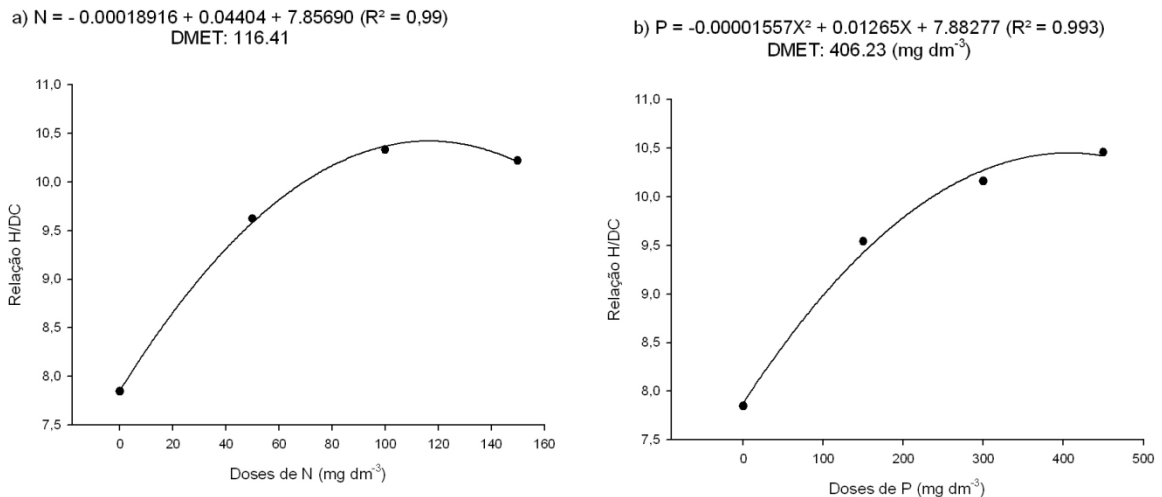


Figura 3 - Efeito da aplicação de diferentes doses de N (a) e P (b) na relação altura/diâmetro do coleto (H/DC) de mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), cultivadas em Argissolo Vermelho alumínico abruptico, 120 dias após a emergência. Santa Maria, RS. 2012.

Mudas que apresentam alturas elevadas e menor diâmetro do coleto são consideradas de qualidade inferior, se comparadas com as que apresentam menor altura e diâmetro maior (CUNHA et al., 2005). No entanto, é ressaltado que a relação H/DC deve ser utilizada em conjunto com outras variáveis para a avaliação do padrão de qualidade das mudas florestais (FONSECA et al., 2002), evitando interpretações errôneas.

Considerando as descrições anteriormente citadas, ou seja, alturas consideradas ideais e análise conjunta da relação H/DC com outra variável, cabe aqui considerar que, as mudas deste experimento, podem ter apresentado a melhor relação H/DC aos 90 dias, podendo ser observado na Figura 2, a qual mostra que as mudas atingiram alturas próximas da condição ideal entre 20 e 35 cm.

4.1.3 Biomassa

Na análise de biomassa, a variável massa seca da parte aérea (MSPA) apresentou efeito significativo nas interações duplas entre doses de N x P e N x K, cujos dados foram analisados, inicialmente, por meio de superfície resposta (Apêndice A).

Na interação N x P, o comportamento apresentou-se quadrático, no entanto não foi possível encontrar os pontos de máximas através da superfície resposta (Apêndice B), pois apenas podem ser estimados quando os autovalores são positivos e se todos os coeficientes dos termos da equação de segundo grau forem negativos. Quando um autovalor é positivo e outro negativo, gerando termos negativos, tem-se o ponto de sela, sendo um valor de máxima e outro de mínima. Neste caso, a solução está em buscar algebricamente um máximo absoluto que se dará nos limites do paralelepípedo explorado pelo experimento (STORCK e LOPES, 1998; PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002), cujos pontos críticos são gerados a partir de pontos médios e muitas vezes são de difícil explicação, como nesse estudo, em que todas as interações duplas apresentaram ponto de sela.

Ao realizar a análise da interação N x P por superfície resposta (Apêndice B), percebeu-se que houveram maiores ganhos com a maior dosagem de P, no entanto, não foi possível visualizar qual a necessidade de N, pois em função dos pontos de sela, a análise considerou como zero a melhor resposta para o elemento.

Segundo Storck e Lopes (1998), quando uma superfície resposta fornece os pontos de sela, os quais não estimam o ponto crítico, é possível fazer a análise de um fator dentro do outro, assim utilizou-se essa alternativa nesse estudo. Como pode-se visualizar na Figura 4a, cuja análise foi realizada com os níveis de P dentro das doses de N, observou-se comportamento quadrático em todos os níveis, cuja dose de 450 mg dm^{-3} de P apresentou o maior ganho em biomassa, próximo de 30g de MSPA com DMET estimada em $94,46 \text{ mg dm}^{-3}$ de N.

Cruz et al. (2011) ao estudar doses de macronutrientes em *Peltophorum dubium* verificaram que, de forma isolada, a dosagem ótima de N, naquele estudo, está entre zero (concentração original do solo) e 50 mg dm^{-3} . Já para o P, o mesmo autor percebeu que doses acima de 600 mg dm^{-3} são requeridas pela espécie para aumento de MSPA. Comparando-se com este estudo, percebe-se que há grande variação no requerimento dos nutrientes para as diferentes espécies.

O N é um dos elementos presentes nos cloroplastos como constituinte da clorofila, além de ser intermediador, através de compostos orgânicos, da multiplicação e diferenciação celular, o que permite aumento de biomassa da planta. Entre o suprimento de nitrogênio e o aumento de biomassa há uma estreita relação, que pode ser expressa através da eficiência do uso do N na produção. A energia e a estrutura molecular para a incorporação do nitrogênio são supridas pelo metabolismo dos carboidratos, o qual, por sua vez, depende da fotossíntese. Fechando um ciclo de interdependência metabólica, a fotossíntese depende de compostos

contendo nitrogênio (por exemplo, clorofila), dessa forma, o aumento da biomassa da planta é limitado, sobretudo, pela oferta de nitrogênio (LARCHER, 2000). Assim, é possível que com esse gasto de energia na assimilação do N a necessidade requerida de P aumente como demonstrado nesse estudo.

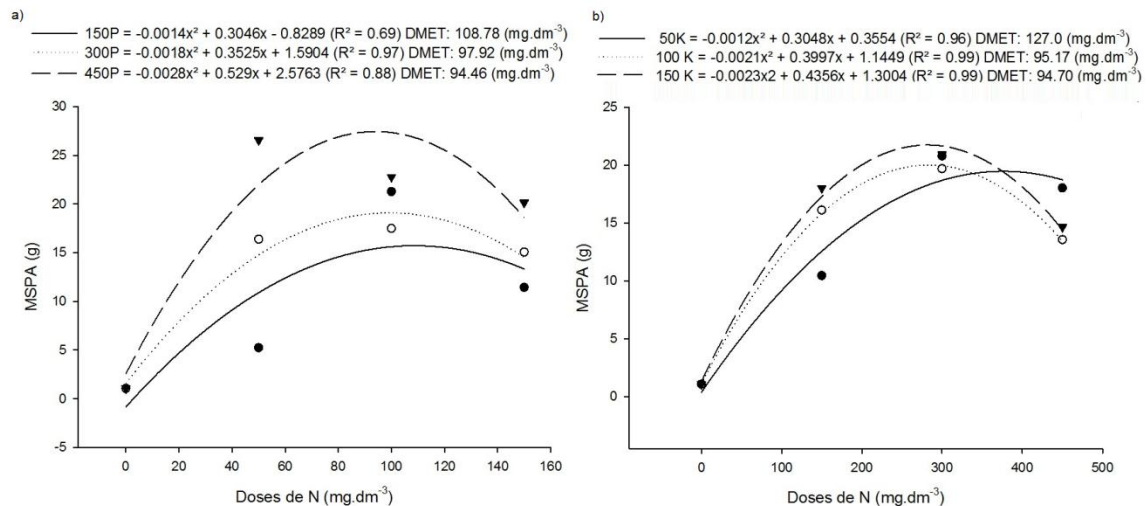


Figura 4 - Diferentes níveis de P analisados nas diferentes doses de N (a) e dos diferentes níveis de K dentro das doses de N (b) para a variável massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), aos 120 dias após a emergência. Santa Maria, RS. 2012.

O fósforo é um dos elementos que mais restringe o crescimento dos vegetais, na maioria dos solos, depois do nitrogênio, encontrando-se na forma orgânica e inorgânica, sendo que, na primeira, é absorvido pela planta após sua mineralização (MARENCO; LOPES, 2007).

Quando estudada a interação entre N x K, novamente a superfície de resposta resultou em pontos de sela (Apêndice C), de tal modo que, da mesma forma que na interação N e P, realizou-se a análise dos diferentes níveis de K dentro das doses de N.

A Figura 4b mostra que o maior incremento de MSPA foi obtido com o nível de 150 mg dm^{-3} de K, no qual a DMET de N foi 94,70 mg dm^{-3} . Este resultado é semelhante àquele encontrado na interação N x P, corroborando a dose encontrada para outras variáveis, sendo possível inferir que doses acima das encontradas podem resultar em um menor aporte de biomassa da parte aérea.

Nicoloso et al. (2001) verificaram resposta quadrática à aplicação isolada de P, ao analisar a massa seca da parte aérea de grápia. Quando avaliada a massa seca do caule, a

resposta de P foi linear, no entanto a dose máxima estudada foi de 80 mg dm^{-3} . Já para N e K, os autores observaram interação significativa, sendo que os resultados das DMET foram estimadas em 70 e 104 mg dm^{-3} , respectivamente. Gonçalves et al. (2008), estudando nutrição de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, verificaram que as doses de máxima produção, de maneira isolada, para produção de MSPA foram de 102 , 600 e 50 mg dm^{-3} de N, P e K, respectivamente. No estudo da adubação fosfatada, Schumacher; Ceconi; Santana (2004) verificaram que a melhor dose de P para produção de biomassa em *Parapiptadenia rigida* foi em 360 mg dm^{-3} . Para a matéria seca das folhas e do caule as doses estimadas de 294 e 286 mg dm^{-3} de N, respectivamente, foram as que possibilitaram, às mudas de umbuzeiro, atingir suas máximas produções, em estudo realizado por Neves et al. (2007). Em outro estudo, Neves et al. (2004) encontraram o consumo de 255 mg dm^{-3} de N para que mudas de *Carapa guianensis* atingissem a melhor produção de MSPA. Wallau; Soares; Camargos (2008) obtiveram resposta para a produção de massa seca da parte aérea de mudas de *Swietenia macrophylla* quando da omissão de N e K, confirmando que a interação entre esses dois elementos é essencial para o aumento da biomassa.

A resposta da interação de N com o K na parte aérea pode ser explicada pela relação dos dois elementos nos processos bioquímicos. O mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos depende inteiramente do fluxo de potássio sobre a taxa de assimilação de CO_2 . Um suprimento inadequado de potássio também faz com que os estômatos não se abram regularmente, podendo ocorrer menor assimilação de CO_2 nos cloroplastos, conseqüentemente diminuindo a taxa fotossintética e, então, o acúmulo de biomassa. Na carência de K, verifica-se redução da taxa fotossintética por unidade de área foliar, e também maiores taxas de respiração, sendo que a combinação desses fatores pode reduzir as reservas de carboidratos da planta (SILVEIRA; GAVA; MALAVOLTA, 2005).

Ao analisar a variável massa seca do sistema radicular (MSSR), N e P apresentaram significância de forma isolada (Apêndice D). O N obteve resposta quadrática sendo que a DMET foi de $74,82 \text{ mg dm}^{-3}$ e, o P apresentou uma resposta linear crescente na produção de MSSR.

Neves et al. (2007) verificaram a necessidade de 281 mg dm^{-3} de N na produção de biomassa do sistema radicular de *Spondias tuberosa*, bem acima da constatada para grábia.

Ceconi et al. (2006) perceberam que mudas de *Luehea divaricata*, não são exigentes de P, sendo que a DMET encontrada foi de $405,0 \text{ mg dm}^{-3}$. Neves et al. (2004) encontraram dose de 246 mg dm^{-3} de P para produção de matéria seca de raiz de *Carapa guianensis*.

Contudo, é possível perceber que altos valores de P aplicados contribuem para aumento de MSSR, como evidenciado neste experimento com a grábia. O sistema radicular de *Peltophorum dubium* também foi significativamente afetado pela omissão de nutrientes como o N e o P, quando estudado por Venturim et al. (1999).

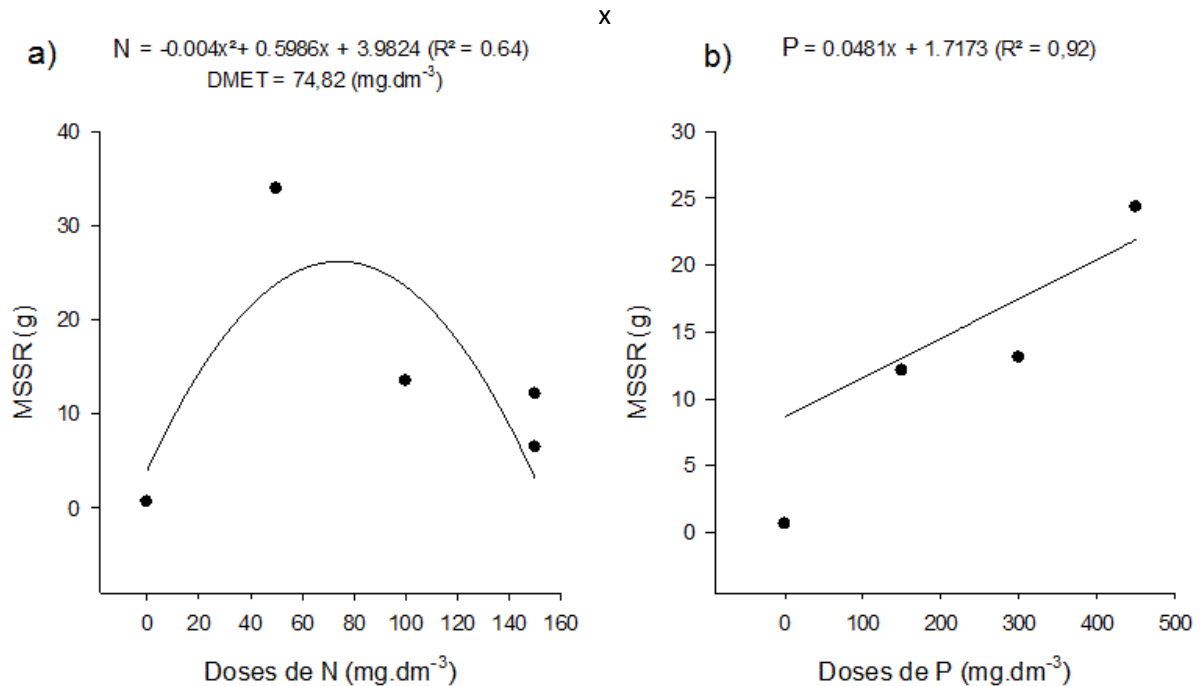


Figura 5 - Efeito de diferentes doses de N (a) e P (b) na produção de massa seca do sistema radicular (MSSR) de mudas de grábia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), cultivadas em Argissolo Vermelho alumínico abrupto, aos 120 dias após a emergência. Santa Maria, RS, 2012.

Na produção de MSSR, Nicoloso et al. (2001) observaram resposta quadrática de P, com ponto de máxima eficiência técnica estimado em 80 mg dm⁻³, sendo esta, a maior dose estudada naquele experimento. De forma geral, os solos das regiões tropicais são pobres quanto a disponibilidade de P, no entanto, este é um elemento indispensável para o completo ciclo das plantas, influenciando de modo particular o crescimento de raízes (MARSCHNER,1995).

Segundo Haase (2008), mudas que apresentam maior biomassa radicular tendem a crescer mais e sobreviver melhor do que aquelas que possuem biomassa inferior, havendo uma estreita correlação entre massa seca das raízes e altura da parte aérea.

A capacidade de absorção das raízes depende da interação entre características morfológicas e fisiológicas da rizosfera. Em situações de deficiência, as características

morfológicas são consideradas como cruciais na absorção do elemento. Contudo, quando não há limitação, fatores fisiológicos podem ser decisivos (ALVES, 2002). Possivelmente o comportamento linear tenha ocorrido em virtude desta constatação, sendo que quanto maiores forem as doses de P ofertadas, maiores os valores de MSSR. O fósforo é um elemento essencial para o crescimento das plantas e, dentre as suas funções, responsável por estimular o crescimento das raízes (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989). O fornecimento de nutrientes afeta o crescimento das raízes e sua morfologia, sendo que a densidade das raízes aumenta rapidamente nos locais de maior concentração do fertilizante (MARSCHNER, 1995).

Para essa variável, a absorção de nitrogênio foi baixa, no entanto, próxima às DMET obtidas para outras variáveis, confirmando que altos valores podem ser prejudiciais no desenvolvimento de mudas da espécie.

Na avaliação da MST, semelhante à MSPA, houve interação entre N x P e N x K (Apêndice E), e da mesma forma que em todas as interações duplas, a superfície resposta apresentou ponto de sela (Apêndice F), assim, optou-se pela análise dos níveis de P e K dentro das doses de N. Nesse sentido, foi possível verificar que a massa seca da parte aérea tenha contribuído com os resultados da MST, uma vez que o comportamento da superfície de resposta foi semelhante. Além disso, o resultado dessa variável ajuda na compreensão da relação H/DC que apresentou valores um pouco acima dos considerados ideais, corroborando com a suposição de estiolamento das mudas.

Na interação N x P observou-se maiores ganhos de MST quando utilizado 450 mg dm^{-3} de P, sendo que a DMET para o N foi de $84,37 \text{ mg dm}^{-3}$. Ao analisar a interação entre N x K a DMET de N foi estimada em $83,27 \text{ mg dm}^{-3}$ na dosagem de 150 mg dm^{-3} de K.

Em relação à influência dos nutrientes, resultados semelhantes foram encontrados por Nicoloso et al. (2001) ao avaliarem diferentes doses de N, P e K em mudas de grápia. Os autores verificaram a interação entre N e K, na variável massa seca das folhas, bem como na massa seca total, sendo, também, evidenciado que doses de K foram maiores que a de N, correspondendo a $125,0$ e $69,0 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente, o que corrobora sobre a influência dos nutrientes na massa seca. O mesmo autor quando analisou a produção de matéria seca das raízes, da mesma forma, não observou interação entre os elementos, sendo constatada apenas resposta quadrática na aplicação de P.

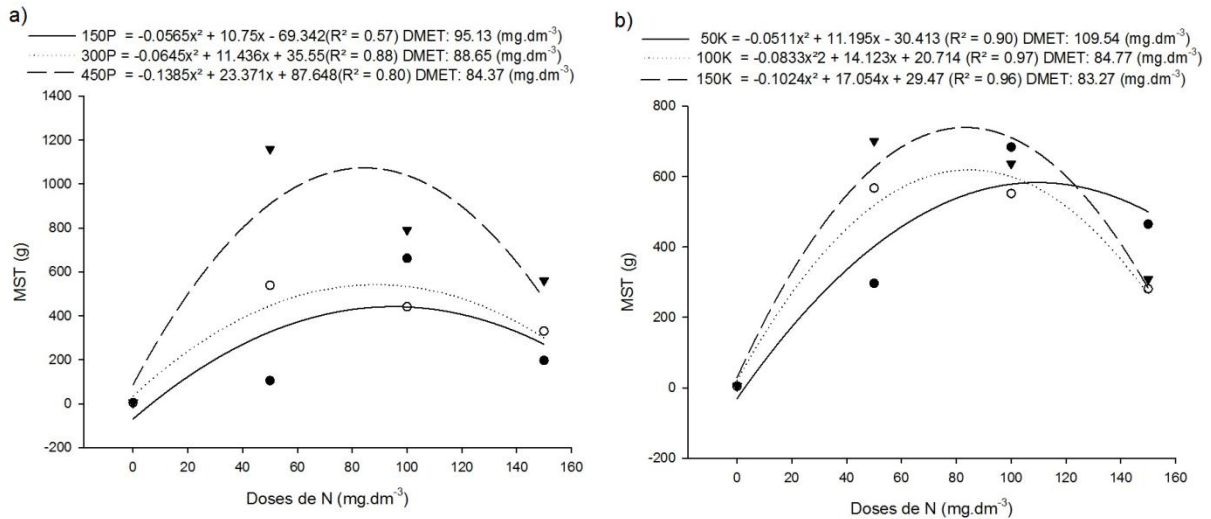


Figura 6 - Diferentes níveis de P analisados nas diferentes doses de N (a) e dos diferentes níveis de K dentro das doses de N (b) para a variável massa seca total (MST) de mudas de grábia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS. 2012.

De forma geral, para as variáveis de biomassa, houve necessidade das maiores doses de P comparada com as de N. Como todos os bioelementos organogênicos, o N e o P são assimilados além de serem incorporados. Entre o suprimento de nitrogênio e o aumento de biomassa há uma estreita relação, que pode ser expressa pela eficiência do uso do N na produção. A energia e a estrutura molecular para a incorporação do nitrogênio são supridas pelo metabolismo dos carboidratos, o qual, por sua vez, depende da fotossíntese, que utiliza moléculas fosfatadas durante as transformações energéticas (LARCHER, 2000). Partindo dessa premissa e que boa parte do N está presente como constituinte da biomassa, percebe-se a grande necessidade do P, que em sua maioria é gasto nos processos metabólicos para incorporação de outros elementos. Além disso, a necessidade de grandes quantidades de P pode estar relacionada com a capacidade de adsorção do nutriente em partículas do solo, fazendo com que nas menores dosagens, a capacidade de absorção seja menor. Como observado por Bonneau et al., (1993 apud BOVI; GODOY; SPIERING, 2002 pg. 163), uma nutrição nitrogenada adequada, conseqüentemente, melhora os teores foliares de outros elementos, especialmente P, aumentando o crescimento e a produção. Neste trabalho, verificou-se que tanto na parte aérea como no sistema radicular houve interferência tanto de N como de P no aumento de biomassa, confirmando, a partir das referências utilizadas para comparação, sobre a influência dos dois elementos no aumento de biomassa.

4.1.4 Área foliar e comprimento radicular

De acordo com a análise de variância, houve diferença significativa na aplicação de diferentes doses de N e P (Apêndice H) para a variável área foliar. Ambas as interações apresentaram resposta quadrática com DMET de 79,5 e 443,9 mg dm⁻³, respectivamente. Pinto, Matumoto-Pinto e Schwan-Estrada (1998), também verificaram maiores valores de área foliar em *Ilex paraguariensis* sob diferentes doses de N e P, observando-se assim, a influência de ambos nutrientes no aumento de área foliar.

A capacidade fotossintética aumenta com o incremento no conteúdo de nitrogênio (expressa em área foliar) de maneira linear em um primeiro momento, sendo que em seguida se mostra saturada em decorrência de outros fatores (LARCHER, 2000).

O custo para o crescimento e diferenciação não se limita apenas à matéria seca incorporada aos tecidos estruturais. A esta despesa acrescenta-se o consumo ou uso dos carboidratos em muitos processos metabólicos: produção de componentes de transporte, utilização como esqueleto das moléculas orgânicas no interior da planta, produção de energia metabólica (respiração e transporte de minerais) e em todas as outras biossínteses. O custo para a produção de uma nova folha pode ser expresso de maneira equivalente em glicose, carbono ou energia necessária. Considerando que o N faz parte de processos de formação de matéria orgânica e o P está envolvido em reações de transferência de energia (LARCHER, 2000), pode-se considerar a influência dos dois elementos na produção de área foliar.

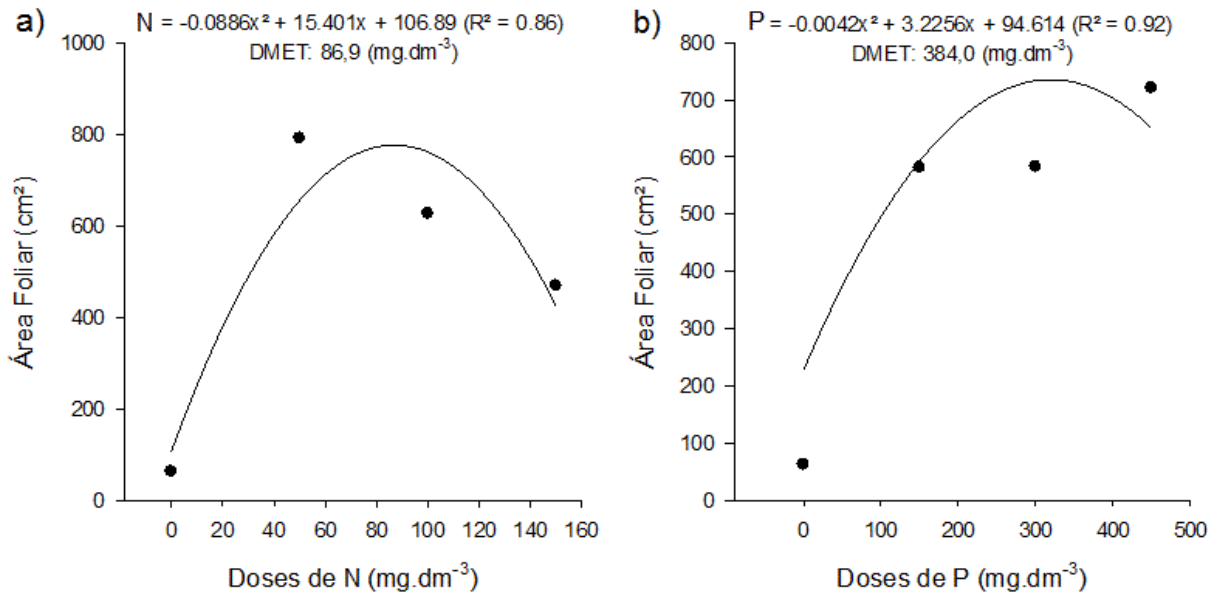


Figura 7 - Efeito das doses de N (a) e P (b) na produção de área foliar de mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), cultivadas em Argissolo Vermelho aluminico abruptico, aos 120 dias após a emergência. Santa Maria, RS, 2012.

Na análise de variância para o comprimento radicular, houve resposta na interação entre N e K. Como nas interações duplas mencionadas anteriormente, a superfície resposta forneceu pontos de sela (Apêndice J), optando-se pela análise dos níveis de K dentro das doses de N. A partir da Figura 8, pode-se observar que, ao utilizar 50 mg dm⁻³ de K, o comprimento radicular tem um crescimento menor a medida que as doses de N aumentam. Ainda que em determinadas doses a produção se equivalha, a utilização da maior dose de K permite um crescimento maior com o aumento das doses de N. Contudo, percebe-se que na maior oferta de K, há menor necessidade de N, sendo necessário 82,89 mg dm⁻³ como resultado da estimativa da DMET.

A interação entre a formação de raízes e a nutrição mineral, ocorre porque as substâncias sintetizadas na parte aérea são translocadas para as raízes via floema, a partir da influência mútua entre tecidos e a composição mineral. Como visto na produção de massa seca da parte aérea houve interação das doses de N e K, o que, provavelmente, pode ter influenciado no crescimento das raízes. No entanto, pouco se sabe sobre a influência isolada, conjunta e/ou das concentrações dos elementos nesse processo. Todo nutriente envolvido nos processos metabólicos, associados à diferenciação e formação de sistema radicular, é considerado essencial para a iniciação radicular (SCHAWAMBACH et al., 2005; NICOLOSO et al., 1999). A capacidade das plantas obter água e nutrientes minerais do solo

está relacionada à sua capacidade de desenvolvimento radicular. As raízes crescem ao longo de todo o ano, no entanto, dependem da disponibilidade de água e nutrientes no microambiente que circunda a raiz, a chamada rizosfera. Se a rizosfera é pobre em nutrientes ou muito seca, o crescimento das raízes tende a ser lento e à medida que as condições melhoram, o crescimento das raízes aumenta (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Sabe-se que os nutrientes minerais possuem funções essenciais e específicas no metabolismo vegetal, podendo agir como constituintes da estrutura orgânica, ativadores de reações enzimáticas, carreadores de cargas e osmorreguladores (MARSCHNER, 1995). Dessa forma a nutrição mineral é considerada um fator chave, que afeta a predisposição ao enraizamento adventício devido ao seu desenvolvimento na determinação de respostas morfogênicas das plantas, como a formação de raízes laterais e a modulação do comprimento e densidade das raízes (ASSIS et al., 2004).

De forma semelhante, Nicoloso et al. (2001) verificaram resposta positiva no comprimento radicular à adubação nitrogenada em grábia somente quando aplicada junto ao K, com DMET estimada em 48 e 65 mg dm⁻³, respectivamente, para N e K, contudo, sob diferentes condições experimentais.

Ferrari Neto; Faquim; Vale, (1994) observaram que para o crescimento das raízes de *Panicum maximum* (capim-colonião) o K mostrou-se mais limitante, salientando que na condição de sua omissão as raízes eram muito finas e frágeis, rompendo facilmente durante a retirada dos vasos e nas sucessivas lavagens.

As plantas mantêm um equilíbrio em concentrações ótimas entre os sistemas radicular e caulinar uma vez que a parte aérea produz alimentos por meio de reações de fotossíntese e as raízes absorvem água e nutrientes do solo (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007). De acordo com os autores, quando plântulas, a superfície total de absorção de água e nutrientes é maior que a superfície fotossintetizante. Contudo, à medida que a planta cresce, esta relação decresce gradativamente.

As raízes são formadas por tecidos parenquimáticos, sendo que suas células estão envolvidas em atividades como a fotossíntese, armazenamento e secreção (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007).

Xu et al. (1992 apud MORAES et al., 2003 pg. 136), em experimento sobre a interação de K com a forma e a quantidade de N no crescimento de *Zea mays*, observaram, que existe relação entre as quantidades ofertadas dos nutrientes no desenvolvimento do comprimento radicular.

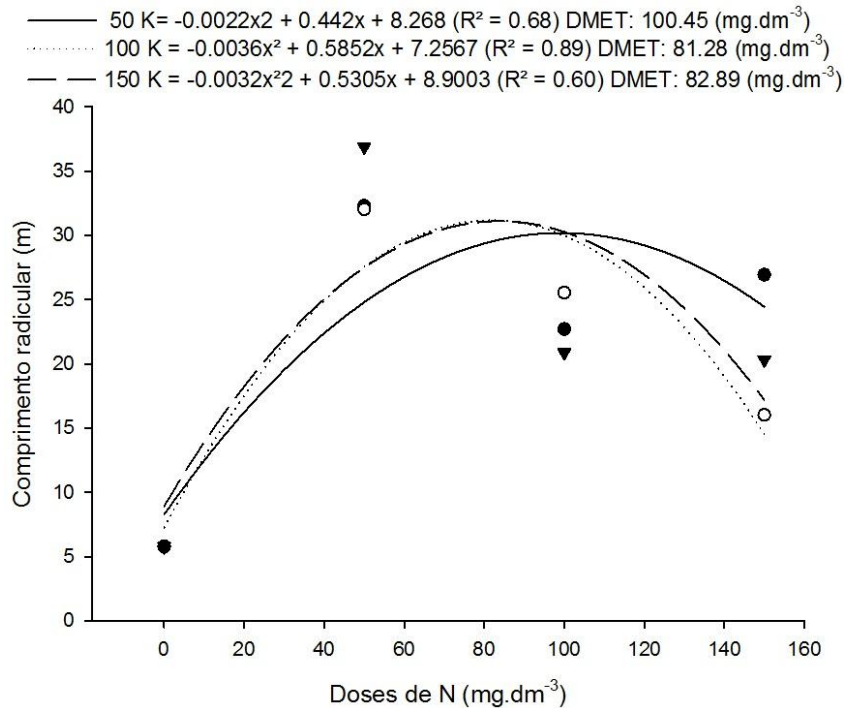


Figura 8 - Efeito dos níveis de K em doses de N no comprimento radicular de mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), cultivadas em Argissolo Vermelho alumínico abruptico, aos 120 dias após a emergência das plantas. Santa Maria, RS, 2012.

Ao considerar que parte dos nutrientes assimilados na parte aérea é translocada para o sistema radicular e que tanto na área foliar como no comprimento radicular, houve interação entre doses de N e K, é provável, que esses dois nutrientes tenham sido os que mais contribuíram para o crescimento do sistema radicular.

Ao analisar as DMET obtidas para as variáveis morfológicas, percebeu-se uma variação entre as dosagens indicadas, principalmente para o N que obteve respostas entre 83,27 a 116,4 mg dm⁻³. Quanto ao P, esses valores mantiveram-se sempre altos, tendo variação até 510,8 mg dm⁻³, verificando-se que outros estudos também apresentam elevada demanda, desse nutriente, para diversas espécies. Ao analisar o K, percebeu-se pouca influência do nutriente na maioria das variáveis, apesar disso, respondendo sempre na maior dosagem (150 mg dm⁻³) aplicada no experimento.

Assim, o uso da análise nutricional, pode servir de base para elucidar as melhores indicações para o desenvolvimento de *Apuleia leiocarpa*.

4.2 Análise nutricional da parte aérea das mudas

De acordo com a análise de variância, os elementos N e S responderam às diferentes doses de nutrientes. Em relação ao conteúdo de N na folha houve efeito significativo das diferentes doses de nitrogênio recebidas e para variável S houve efeito significativo na interação N x K.

O comportamento das doses de N aplicadas nos tratamentos quanto ao conteúdo de N nas folhas foi quadrático, sendo possível observar, na Figura 9, que houve uma queda nas quantidades de N entre a testemunha até a dosagem de 59,80 mg dm⁻³ de N aplicado. A partir desta dosagem houve aumento dos teores de N à medida que foram fornecidas maiores quantidades de nutriente. Os teores de N apresentaram-se altos na testemunha, possivelmente em função da necessidade de uso de toda a parte aérea para a análise, conforme descrito na metodologia. Outra explicação pode estar relacionada ao acúmulo de nutrientes em função do tamanho da amostra (Figura 9). Moraes Neto et al., (2003) encontraram resultado semelhante ao avaliar o teor de conteúdo em mudas de *Croton floribundos*, *Guazuma ulmifolia* e *Gallesia integrifolia*, cujos tratamentos que receberam as menores doses de fertilização apresentaram os maiores teores de nutrientes.

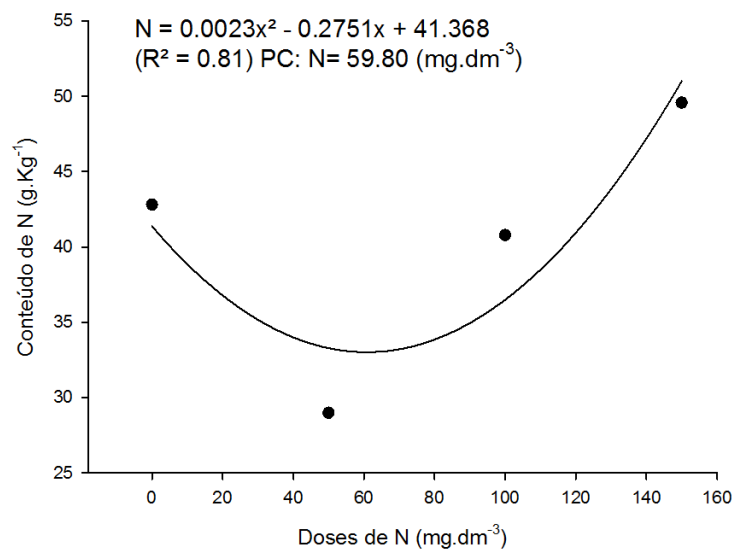


Figura 9 - Conteúdo de nitrogênio nas folhas de mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), cultivadas em Argissolo Vermelho alumínico abruptico, aos 120 dias após a emergência das plantas. Santa Maria, RS, 2012.

Quando há saturação de íons, a planta absorve menos que as que possuem poucos íons, devido ao fato de ter atingido o limite máximo de absorção de um dado nutriente. Contudo, a planta só conseguirá absorver se estiver em bom estado fisiológico, sendo possível que em níveis críticos de deficiência essa velocidade diminua (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Segundo os mesmos autores, existem diversos fatores que modificam a absorção dos nutrientes, uma vez que a capacidade da raiz é limitada, fazendo com que plantas em ligeira deficiência, possam acumular mais nutrientes do que as já bem supridas do elemento.

Conforme resultado encontrado por Wallau, Soares e Camargo (2008) e Vieira et al. (2011) a omissão de N reduziu a concentração desse nutriente na parte aérea em mudas de *Swietenia macrophylla*. Ainda na Figura 9, percebe-se que doses acima de 100 mg dm^{-3} de N passaram a acumular, nas folhas, quantidades maiores que o recomendado por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), as quais variam entre de 12 a 35 g kg^{-1} .

Ainda que seja crescente a concentração de N nas folhas à medida que se aumenta as dosagens, não se pode afirmar que o melhor desenvolvimento se dará com a maior dose aplicada, pois é possível que ocorra toxidez com quantidades superiores as exigidas pela planta ou consumo de luxo, sendo conveniente, portanto, comparar com as respostas das variáveis morfológicas.

Faquim (2002) explica que a situação de consumo de luxo de nutrientes é observada em solos com disponibilidade suficiente de nutriente, mas sem nenhuma resposta em crescimento. Nesse caso, a planta absorve o nutriente aplicado, mas não responde em crescimento, ocorrendo aumento da sua concentração nos tecidos da planta.

Ao relacionar este resultado com as variáveis estudadas, percebe-se que, as doses que influenciaram positivamente estiveram entre 80 e 100 mg dm^{-3} de N.

No estudo realizado por Nicoloso et al., (2007), os autores verificaram interação entre as doses de N x P, sendo que, semelhante a este experimento, quanto maiores as doses aplicadas no solo, maiores foram os teores de N encontrado nos tecidos.

Nas fases iniciais de crescimento, as concentrações serão elevadas em toda a planta, sendo que com o amadurecimento, as concentrações de nitrogênio nas folhas tendem a cair, e geralmente é independente do fornecimento externo inicial de nitrogênio (LARCHER, 2000).

Em relação ao fósforo, as menores concentrações constatadas no teor dos nutrientes foram encontradas no tratamento testemunha, o qual não recebeu doses de N, P e K, ficando abaixo dos valores recomendados por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) que indicam doses de P variando de 1 a $2,3 \text{ g Kg}^{-1}$. Nicoloso et al. (2001), mencionam que, na fase inicial do

desenvolvimento, a grápia é uma espécie pouco eficiente em absorver P quando em baixa disponibilidade no substrato.

Nos demais tratamentos percebe-se que os maiores valores (acima de 2 g Kg^{-1} de P) foram encontrados quando aplicada as doses mais altas de N, no entanto, dentro dos limites aceitáveis (12 a 35 g Kg^{-1}). Desta forma, o estudo aponta que os teores de N podem interferir na assimilação de P. A partir das análises foliares e da reposta do P nas variáveis, recomenda-se a aplicação de 450 mg dm^{-3} do nutriente nas mudas de grápia, no solo estudado.

O maior teor de K ($14,17 \text{ g Kg}^{-1}$) foi encontrado nas folhas do tratamento testemunha. Para Rajj (1991), este fato pode estar associado ao fenômeno de competição que ocorre entre o nitrogênio e o potássio e provavelmente, as baixas concentrações de N no solo, podem ter influenciado neste resultado. Souza et al. (2010) relatou que os teores de K foram altos em mudas de *Swietenia macrophylla*, quando na omissão de N.

Quanto ao teor de nutrientes nas folhas, o potássio não diferiu significativamente aos tratamentos aplicados e, em relação às variáveis estudadas, o nutriente influenciou, principalmente, naquelas relacionadas ao sistema radicular. Neste experimento não foi realizada a análise dos tecidos radiculares, no entanto como relatado por Nicoloso (2007), houve diferença significativa dos teores de K encontrados nos tecidos da raiz de grápia, sob efeito isolado de P e na interação NxK. Desta forma, sugere-se a aplicação de 150 mg dm^{-3} de K em mudas de grápia em um Argissolo Vermelho alumínico abruptico.

Quanto ao cálcio, não se constatou a influência dos tratamentos aplicados, o qual apresentou valores dentro dos indicados por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). A principal função deste nutriente consiste em aumentar a resistência mecânica dos tecidos, participando da estrutura da parede celular. Quando as células crescem aumenta a necessidade do cálcio para formação da pectina, conferindo a alongação da parede celular. Esse suprimento, afeta o crescimento radicular, podendo ser interrompido na ausência do nutriente (PRADO, 2008). O autor explica que diversos fatores podem afetar a disponibilidade de cálcio, como, por exemplo, o valor de pH, sendo que próximo a 6,5 a disponibilidade desse nutriente é maior, no entanto, nesta pesquisa o pH do solo foi de 4,9, não interferindo a absorção de Ca.

Diferentes doses de fósforo causaram variação nos conteúdos de Mg encontrados nas folhas da grápia, como pode ser observada no tabela 5, no entanto o coeficiente de determinação (0,18) apresentou-se muito baixo, não indicando confiabilidade ao resultado.

O magnésio possui papéis fisiológicos e moleculares importantes nas plantas, fazendo parte da molécula de clorofila, como cofator para processos enzimáticos associados à fosforilação, desfosforilação e da hidrólise de muitos compostos. Assim, a assimilação de

carbono e as transformações de energia serão afetados diretamente pela quantidade de Mg absorvida (MERHAUT, 2007). Provavelmente essa seja uma explicação da variação do elemento a diferentes concentrações fornecidas de P, pois juntamente com o Mg, participa de reações energéticas.

De acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), os níveis considerados adequados de Mg encontrado nas folhas de espécies vegetais, variam entre 1,5 e 5,0 g Kg⁻¹. Como pode ser visto na Tabela 5, os níveis estão dentro do intervalo indicado o que pode ser explicado pelo fato de que o solo utilizado nesse estudo tenha quantidades suficientes deste nutriente (Tabela 2) para o desenvolvimento de grápia.

No contexto fisiológico a deficiência de magnésio pode diminuir o incremento de biomassa, principalmente de raiz, sendo que essa diminuição será agravada pela deficiência do elemento bem como pelo tipo de planta, fase de desenvolvimento e condições ambientais. Os sintomas mais comuns são: acúmulo de amido nas folhas, que pode estar associado ao lento crescimento inicial de plantas, e diminuição da alocação de carboidratos para folhas em desenvolvimento. Este processo é seguido pelo aparecimento de clorose entre as nervuras foliares, principalmente em folhas mais velhas, devido a sua mobilidade no interior da planta. Se a deficiência é muito grande, as folhas podem tornar-se amarelas ou brancas, até a abscisão foliar prematura. Em contrapartida, altas concentrações de Mg podem interferir na absorção de outros nutrientes essenciais como o cálcio e o potássio (TAIZ; ZEIGER, 2009; MERHAUT, 2007).

A provável explicação entre o acúmulo de Mg ter sido influenciada pelos níveis de P pode ser devido ao efeito sinérgico entre os dois elementos. Este fenômeno está associado com o equilíbrio relacionado à absorção de cátions e de ânions em plantas, bem como o aumento do crescimento da raiz, algumas vezes, observado com a adubação fosfatada (MERHAUT, 2007).

O conteúdo de enxofre nas folhas, respondeu às diferentes doses de N aplicadas nos tratamentos. Os resultados encontrados para a significância de N sobre os conteúdos de S nas folhas são mostrados na Figura 11. À medida que foi aumentada a oferta de N para as mudas, houve uma queda no teor de S no material analisado, observado em níveis de deficiência conforme descrito por Malavolta, Vitti e Oliveira, (1997).

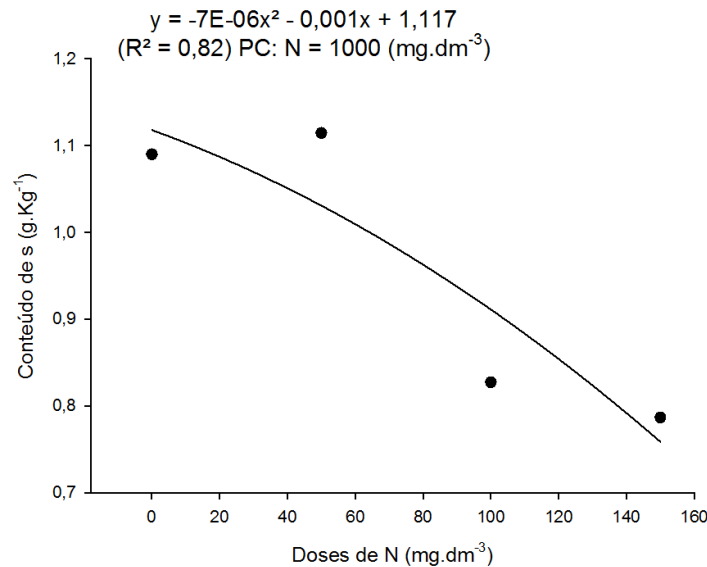


Figura 10 - Conteúdo de enxofre nas folhas de mudas de grábia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), cultivadas em Argissolo Vermelho alumínico abrupto, aos 120 dias após a emergência das plantas. Santa Maria, RS, 2012.

Dessa forma um aumento expressivo do N poderá baixar o teor de enxofre influenciando negativamente no desenvolvimento da planta, pois na maioria das espécies vegetais a maior proporção (acima de 70% do S total) está presente na forma reduzida de cisteína e metionina, ambos aminoácidos resíduos de proteínas, essenciais ao metabolismo. Além disso, as plantas contêm uma grande variedade de outros compostos orgânicos de enxofre tais como tióis e sulfolipídios; algumas espécies contêm os chamados compostos secundários de enxofre tais como glucosinolatos (HANEKLAUS, 2007).

Interações entre enxofre e outros minerais podem influenciar significativamente os parâmetros de qualidade das mudas. O enxofre e o nitrogênio mostram interações fortes em seus efeitos nutricionais sobre o crescimento e a qualidade, devido à sua ocorrência mútua em aminoácidos e proteínas.

A absorção e assimilação de enxofre e de nitrogênio pelas plantas são fortemente interligadas e dependem um do outro. Os sintomas de deficiência de enxofre são similares aos da deficiência de nitrogênio, incluindo clorose, redução do crescimento e acúmulo de antocianinas. Tal similaridade ocorre, pois ambos são constituintes de proteínas. Contudo, ao contrário do nitrogênio, os sintomas aparecem nas folhas mais jovens, uma vez que o enxofre não é remobilizado com facilidade (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Muitas vezes, ao corrigir o solo com adubação nitrogenada, ocorre deficiência de S. Tal condição ocorre, normalmente, quando a fonte de N é alta. Ainda não existem respostas

para tal antagonismo, sendo que para a experimentação, estes resultados são relevantes antes de qualquer hipótese sobre o efeito que cada um exerce na produção vegetal. Quando se altera o suprimento de nitrogênio a demanda de enxofre é afetada e vice-versa. Sob condições de deficiência de S, a utilização de nitrogênio será reduzida e, conseqüentemente, compostos não proteicos de N, incluindo o nitrato, acumulam-se no tecido da planta.

Tabela 6 - Teores de nutrientes da parte aérea (folhas) de mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), produzidas em diferentes doses de N, P e K aos 120 dias. Santa Maria, RS. 2012.

Tratamento	Doses N P K (mg dm ⁻³)	Macronutrientes (g Kg ⁻¹)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
1	0 0 0	42,80	0,88	14,17	7,93	2,24	1,09
2	50 150 50	28,70	1,63	9,22	5,19	1,58	1,41
3	50 150 100	43,48	1,35	8,59	8,74	2,18	0,62
4	50 150 150	37,21	1,49	9,17	7,40	2,33	0,75
5	50 300 50	21,92	1,25	7,54	9,26	2,20	0,98
6	50 300 100	36,92	1,43	10,50	9,15	2,03	1,21
7	50 300 150	23,84	1,46	10,15	10,65	1,89	1,10
8	50 450 50	25,69	1,40	10,48	9,56	2,20	1,41
9	50 450 100	24,08	1,42	9,51	9,49	1,76	0,94
10	50 450 150	23,98	1,49	11,64	8,94	1,74	1,47
11	100 150 50	41,66	1,47	9,92	7,83	2,02	0,68
12	100 150 100	36,93	1,18	8,86	7,58	1,49	0,86
13	100 150 150	37,25	1,29	9,45	7,73	1,31	0,77
14	100 300 50	37,86	1,22	8,62	6,73	1,79	0,74
15	100 300 100	48,90	1,67	9,29	9,49	2,22	0,58
16	100 300 150	46,72	1,72	8,44	7,15	1,64	0,99
17	100 450 50	37,26	1,89	7,70	8,76	2,57	0,71
18	100 450 100	41,13	1,70	8,98	8,91	1,84	1,29
19	100 450 150	39,26	1,90	8,51	8,98	2,02	0,82
20	150 150 50	46,23	1,51	7,83	7,56	1,47	0,91
21	150 150 100	46,92	1,81	10,14	7,66	2,25	0,84
22	150 150 150	55,87	1,24	7,03	9,01	1,82	0,61
23	150 300 50	50,00	1,51	8,02	8,84	2,93	0,72
24	150 300 100	45,99	1,38	8,02	7,94	1,83	0,89
25	150 300 150	49,79	2,29	10,76	7,94	3,25	0,74
26	150 450 50	50,32	2,16	7,68	8,22	2,36	0,97
27	150 450 100	48,99	1,58	8,15	7,05	1,63	0,72
28	150 450 150	51,97	2,26	10,02	7,01	2,25	0,67
MÉDIA GERAL		40,54	1,57	9,20	8,31	2,03	0,90
C, V %		24,15	21,09	16,06	13,59	21,25	27,92
RECOMENDAÇÃO*		12,0–35,0	1,0–2,3	10,0-14,0	3,0-12,0	1,7–5,0	1,4–2,6

*Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

Em geral, foi possível perceber que as mudas de grápia tiveram um desenvolvimento adequado em diferentes combinações de N, P e K, considerando que diferentes variáveis

apresentaram determinada DMET. No entanto, a grápia respondeu de forma semelhante em muitas variáveis, como altura, diâmetro do coleto, massa seca da parte aérea e massa seca do sistema radicular, o que permite inferir sobre seu comportamento em um solo Argissolo Vermelho alumínico abrúptico.

Muitos estudos buscam uma referência que permita ao produtor o uso adequado de fertilizantes, porém, estabelecer qual variável melhor evidencia esses resultados não é simples. Essa dificuldade, também está relacionada com fatores como a região de ocorrência da espécie e, conseqüentemente, a variabilidade genética. Neste estudo, ao relacionar variáveis morfológicas e o teor de nutrientes nas folhas pode-se visualizar que nem sempre as estimativas de máxima produção, a partir das DMET, podem ser conclusivas. Ao eleger uma variável, pode-se cometer erros, sendo necessário sempre a interpretação por meio de um conjunto de variáveis. Já existem parâmetros estabelecidos para espécies exóticas como *Pinus* e *Eucalyptus* e para nativas o que é utilizado para comparação entre diferentes espécies, porém os estudos que comprovem os resultados para cada espécie, são mais adequados.

Ao relacionar os resultados das variáveis morfológicas com as DMET, observou-se que o N teve melhor resposta com doses entre 80 e 100 mg dm⁻³, condição que proporcionou teores de N na parte aérea, superior ao descrito por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). A interação existente entre o N e o S pode ter causado essa concentração elevada, uma vez que na deficiência do S, aqui constatada, ocorre acúmulo de nitrato nos tecidos da planta. Além disso, esses resultados corroboram alguns estudos que destacam a variável exigência nutricional entre espécies, assim como permite inferir que a grápia apresenta uma maior demanda de N na formação de composto orgânicos, não necessariamente aminoácidos que dependem também do enxofre. A necessidade de estudos que estimem a melhor dose de N para o desenvolvimento de grápia se faz necessário, sendo que doses intermediárias a amplitude indicada neste trabalho devem ser verificadas, sem deixar de considerar respostas diferenciadas no parcelamento dessas doses, já que foi percebida diferença na exigência nos diferentes períodos de avaliação.

Quanto ao fósforo, entendeu-se que na aplicação das maiores doses (450 mg dm⁻³), a planta respondeu de forma positiva, tal tendência que foi corroborada por outros estudos. Provavelmente, a capacidade de adsorção que o elemento tem ao solo e, conseqüentemente, sua pouca mobilidade em função das grandes quantidades de alumínio, exija que essas maiores doses sejam aplicadas na adubação de base.

O K apresentou pouca influencia e respostas semelhantes, ou seja, o melhor desenvolvimento das mudas foi obtido com a maior dosagem aplicada nos vasos (150 mg dm^{-3}).

De forma geral, a assimilação dos macronutrientes obedeceu a uma ordem decrescente, na seguinte classificação: $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{S} > \text{P} > \text{Mg}$, semelhante a encontrada por Nicoloso et al. (2007) que verificaram a ordem de $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P}$.

Diante das respostas as variáveis morfológicas não destrutivas (altura e o diâmetro do coleto), correspondem às variáveis obtidas pelo método destrutivo, sendo facilmente medidas, e correspondentes às variáveis fisiológicas (conteúdo de nutrientes na folha) obtidas pela análise nutricional. Nesse sentido, as doses de N, P e K, consideradas mais adequadas nesse estudo ($100, 450$ e 150 mg dm^{-3}), também correspondem à análise foliar com os teores de $39,26; 1,90; 8,51; 8,98; 2,02; 0,82 \text{ g Kg}^{-1}$ para N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, obtendo-se mudas com desenvolvimento satisfatório.

5 CONCLUSÃO

A combinação de diferentes doses de N, P e K mostrou que houve resposta diferenciada no crescimento de *Apuleia leiocarpa*, em Argissolo Vermelho alumínico abráptico.

Doses de N interferem no teor de nutrientes na folha.

Doses acima de 100 mg. dm⁻³ de N interferem negativamente no crescimento de mudas da grápia, nestas condições de estudo.

O uso de 450 e 150 mg dm⁻³ de P e K, respectivamente, é recomendado para fertilização de grápia em um Argissolo Vermelho alumínico abráptico. Estudos complementares com doses intermediárias entre 50 e 100 mg dm⁻³ de N devem ser realizados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V. M C. et al. Cinética de absorção de fósforo e crescimento do sistema radicular de genótipos de milho contrastantes para eficiência a fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, n.1, p.85-92, 2002.

ARAÚJO, J. C A. As histórias se confundem. **Opiniões**. Ribeirão Preto, SP. pg. 32. Mar-Mai, 2010.

BARKER, A. V.; BRYSON, G. M. Nitrogen. In: **Handbook of plant nutrition**. CRC Press, New York. 2007. 613 p. Disponível em: <http://curezone.com/upload/Members/ChazTheMeatHe/Books/Survival/8_19_10/9_Handbook_of_Plant_Nutrition.pdf>. Acesso em 06 jan. 2013.

BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **Handbook of plant nutrition**. CRC Press, New York. 2007. 613 p. Disponível em: http://curezone.com/upload/Members/ChazTheMeatHe/Books/Survival/8_19_10/9_Handbook_of_Plant_Nutrition.pdf>. Acesso em 06 jan. 2013.

BELOTTE, A. F. J.; SILVA, H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus*. In: GONÇALVES, J. L. M; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. Cap. 4, p. 105-133.

BONNEAU, X.; et. al. Nutrition minérale des cocotiers hybrides sur tourbe de la pépinière à l'entrée en production. *Oléagineux*, v.48, p.9-26, 1993. In: BOVI, M. L. A.; GODOY, G.; SPEIRING, S. H. Respostas de crescimento da pupunheira à adubação NPK. **Scientia Agricola**, v.59, n.1, p.161-166. 2002.

BUCKERIDGE M. S; et al. Polissacarídeos de reserva de parede celular em sementes. estrutura, metabolismo, funções e aspectos ecológicos **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 12 (Edição Especial). Lavras, 2000.

BURIOL, G.A. et al. Cartas mensais e anuais das temperaturas médias, das médias das temperaturas máximas e das médias das temperaturas mínimas do estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.9, Suplemento, np., 1979.

CARNEIRO, J. G. A. **Determinação do padrão de qualidade de mudas de *Pinus taeda* L. para plantio definitivo**. 1976. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: EMBRAPA. Informação Tecnológica. Colombo, PR: EMBRAPA Florestas, v. 1, 2003. 1039 p.

CECONI, D. E. et al. Crescimento de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart.) sob influência da adubação fosfatada. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 292-299. 2006.

COELHO, F. S. **Fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1975. 384p.

CRAWFORD, N.M. Nitrate: nutrient and signal for plant growth. **The Plant Cell**, Rockville, v.7, p.859-868, 1995.

CRUZ, C. A F.; et al. Macronutrientes na produção de mudas de canafístula em argissolo vermelho amarelo da região da Zona da Mata, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 445-457. 2011.

CUNHA, A. O. et al. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex D.C.) Standl. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 507-516, 2005.

DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Viveiros florestais. In: DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. **Produção de sementes e mudas de espécies florestais**. Lavras: UFLA, 2008. cap. 2, p. 83-124.

Decreto estadual n 42.099. publicado em 1/01/2003 – Disponível em http://www.fzb.rs.gov.br/downloads/flora_ameacada.pdf. Lista final das espécies ameaçadas de extinção no RS. Acesso em 17/09/2012.

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. Não paginado.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. Brasília: EMBRAPA, 1999.

FAO. **State of the World's Forests**. Rome, Food and Agriculture of United Nations, 2011. 164 p.

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

FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. 2002. 77 f. Monografia (Especialização a distância: fertilidade do solo e nutrição de plantas no agronegócio)–Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu”–Universidade Federal de Lavras/FAEPE, Lavras, 2002.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2005, 175 p.

FAVARIN, J. L. et al., Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 6, p 769-773, jun. 2002.

FERNANDES, F.C.S. et al. Internal drainage and nitrate leaching corn-black oat-corn succession with two split nitrogen applications. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.63, n.5, p.483- 492, 2006.

FERRARI NETO, J.; FAQUIN, V.; VALE, F.R. Limitações nutricionais do colômbio (*Panicum maximum*, Jacq.) e da braquiria (*Brachiaria decumbens* Stapf.), em amostras de um latossolo do noroeste do Paraná: I. produção de matéria seca e perfilhamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.23, n.4, p.538-551, 1994.

FITTER, A. Characteristics and functions of root systems. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Eds.) **Plant roots: the hidden half**. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-20. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=C7daGqhy1N8C&oi=fnd&pg=PA21&dq=Characteristics+and+functions+of+root+systems&ots=r7GrkHnKkg&sig=zzNOdzqrRa4CKEDkS2J7MS7OstU>> Acesso em: 19 de dez, 2012.

FOGAÇA, M. A. F. Nutrição mineral da grápia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride): resposta à fertilização NPK em solo podzólico vermelho amarelo. Santa Maria, UFSM, 1999. 77 p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 1999.

FONSECA, E. P. et al. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micranta* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.

FORTUNATO, R. P.; NICOLOSO, F. T. Toxidez de alumínio em plântulas de grápia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.1, p.89-95, jan-fev, 2004

GIFORD, R. M et al., Crop productivity and photoassimilate partitioning. **Science**, V. 225. n.4664, p.801-808, 1984. Disponível em: <http://www.sciencemag.org/content/225/4664/801.abstract?sid=f9f907de-8a77-441f-9754-cd5359eb9ad7>. Acesso em 15 de Jan 2013.

GOMES, J. M.; et al. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. Produção de mudas de eucalipto por sementes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 242, p. 14-22, 2008.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais** (propagação sexuada). 3 ed. Viçosa: UFV, 2004. 116 p. (Cadernos Didáticos, 72).

GONÇALVES, E. O.; et al. Crescimento de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (benth.) brenan) sob diferentes doses de macronutrientes. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.6, p.1029-1040, 2008.

GONÇALVES, J.L.M.; et al. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. Cap. 11, p. 310-344.

HAASE, D. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. **Tree Planter's Notes**. United States: Department of Agriculture/ Forest Service, v.52, n. 2, p. 24-30, 2008.

HANEKLAUS, S. et al. Sulfur. In: **Handbook of plant nutrition**. CRC Press. New York, 2007, 613 p, Disponível em: <http://curezone.com/upload/Members/ChazTheMeatHe/Books/Survival/8_19_10/9_Handbook_of_Plant_Nutrition.pdf>. Acesso em 06 jan. 2013.

JACOBS, D. F.; LANDIS, T. D. Fertilization. In: DUMROESE, R. K.; LUNA, T.; LANDIS, T. D. (Ed.). **Nursery manual for native plants: a guide for tribal nurseries**. Agriculture Handbook 730. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, v.1, 2009. p. 201-215.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531 p.

LAVRES JR, J.; MONTEIRO, F. A. Perfilamento, área Foliar e Sistema Radicular do Capim-Mombaça Submetido a Combinações de Doses de Nitrogênio e Potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.32, n.5, p.1068-1075, 2003.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, São Paulo: Plantarum, 2002. v. 1. 378 p.

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba: Potafós, 1985. 136p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas** – Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e Fosfato, 1989. 201 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres. 2006. 638 p.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das angiospermas**: leguminosas- Santa Maria: Ed. UFSM, 1997. 200 p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: Ed. da UFV, 2007. 469 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, C. V. O.; SOUZA, V. F. Importância da classificação dos solos no sistema brasileiro e quanto a capacidade de uso da terra das propriedades rurais para o seu manejo sustentável **Anais V Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar**, 2009.

MERHAUT, D. J. Magnesium. In: **Handbook of plant nutrition**. CRC Press, New York. 2007. 613 p. Disponível em: <http://curezone.com/upload/Members/ChazTheMeatHe/Books/Survival/8_19_10/9_Handbook_of_Plant_Nutrition.pdf>. Acesso em 06 jan. 2013.

MEXAL, J. G.; LANDIS, T. D. Target seedling concepts: height and diameter. In: Target seedling symposium: proceedings combined meeting of the western forest nursery associations, 1990, Oregon. **Proceedings**...Oregon: USDA, 1990. cap. 3. p. 17-37.

MISSIO, E. L. et al. Exigências nutricionais da grápia ao fósforo e enxofre em argissolo vermelho distrófico arênico: Efeito da adubação no crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, vol.34, n.4, p. 1051-1057, 2004.

MISSIO, E. L. Nutrição mineral de grápia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride) com fósforo, enxofre e ferro num argissolo vermelho distrófico arênico. Santa Maria, 2002. 66p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

MONTEIRO, J. E. B. A; et al. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.1, p.15-24, 2005.

MORAES NETO, S. P. et al. Produção de mudas de espécies arbóreas nativas com combinações de adubos de liberação controlada e prontamente solúveis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p.779-789, 2003.

NEVES, O. S. C. et al. Crescimento, produção de matéria seca e acúmulo de N,P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) cultivadas em solo de várzea, em função de diferentes doses de fósforo. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.3, p. 343-349, 2004.

NEVES, O. S. C. et al. Efeito da adubação nitrogenada sobre o crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas de umbuzeiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife. v. 2, n. 3, 2007.

NICOLOSO, F. T, et al. Exigências nutricionais da grápia em argissolo vermelho distrófico arênico: (II) Efeito da adubação NPK no teor de nutrientes nos tecidos. **Ciência Rural**, Santa Maria, vol.37, n.2, p. 372-380, 2007.

NICOLOSO, F. T, et al. Nutrição mineral de mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa*) em argissolo vermelho distrófico arênico: Efeito da adubação NPK no crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, vol.31, n.6, p. 991-998, 2001.

NICOLOSO, F. T. et al. Calagem e adubação NPKS: (I) Efeito no crescimento de mudas de grápia cultivadas em horizontes A e B de um Argissolo Vermelho distrófico arênico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.6, p.1596-1603, set, 2008

NICOLOSSO, F. T. et al. Exigências nutricionais da grápia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride) em solo podzólico vermelho amarelo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n.2, p. 225-231, 1999.

PAIVA, H. N.; GOMES, J. M. **Viveiros florestais**. Cadernos didáticos, 2º ed., Viçosa: UFV, 2000. 69 p.

PEREIRA, P.A. A. et al. Assimilação e translocação de nitrogênio em relação a produção de grãos e proteínas em milho (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.5, p. 28-31, 1981.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações pra uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 2002. 309p.

PINTO, L. P. et al. A Mata Atlântica. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. (Org.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica**: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: LERF/ESALQ, Instituto BioAtlântica, 2009. p. 6-10.

PINTRO, J. C.; MATUMOTO-PINTRO, P.; SCHWAN-ESTRADA K. R. F. Crescimento e desenvolvimento de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivadas em solo sob diferentes níveis de fertilidade. **Acta Scientiarum**, Maringá v 20 n. 3, 1998, p.285-289.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Ed. da UNESP, 2008. 407 p.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991, 343 p.

RAVEN, P.H., EVERT, R.F. & EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**, 7^a. ed.. Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. 2007. 738p.

REIS, E. R, et al. Variabilidade dos parâmetros morfológicos em mudas de *Pinus elliottii* Engelm. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 141-146, abr./jun. 2008.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e abastecimento, 1988. 525 p.

RITCHIE, G. A. et al. Assessing plant quality. In: LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. **Seedling Processing, Storage and Outplanting**, v. 7, Agriculture. Handbook. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, 2010. cap. 2. p. 17-81.

ROSE, R.; CARLSON, W. C.; MORGAN, P. The target seedling concepts. In: Target seedling symposium: proceedings combined meeting of the western forest nursery associations, 1990, Oregon. **Proceedings**...Oregon: USDA, 1990. cap. 1. p. 13-17.

SCIVITTARO, W. B.; OLIVEIRA, R. P.; RADMANN, E. B. Doses de fertilizante de liberação lenta na formação do porta enxerto Trifoliata.. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 26 n 3. Jaboticabal, dez 2004.

SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E.; SANTANA, C. A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 149-155, 2004.

SCREMIN-DIAS, E.; et al. Produção de mudas de espécies florestais nativas: manual. Campo Grande, MS. 2006. Série: rede de sementes do Pantanal. Ed. UFMS. 59p. Disponível em: <<http://sementesdopantanal.dbi.ufms.br/menuhorizontal/pdf/manual2>> Acesso em: 01 de fev. 2013.

SILVEIRA, R. L. V A.; GAVA, J. L.; MALAVOLTA, E. Nutrição e Adubação Potássica em Eucalyptus. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira**, São Paulo. 2005.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica** - Período 2008-2010. São Paulo, 2011.122 p.

SOUZA, A. S.; TUCCI, C. A. F.; SILVA, J. F.; RIBEIRO, W. O. Exigências nutricionais e crescimento de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla* King.). **Acta Amazônica**, v. 40. n. 3. 2010: p. 515 – 522.

STORCK, L.; LOPES, S. J. **Experimentação II**. Santa Maria. UFSM, 1998. 2 ed. 205p.

TAIZ, L. ; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

UFSM/SEMA-RS. Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul. Santa Maria: UFSM/SEMA-RS, 2001. Disponível em: <<http://coralx.ufsm.br/ifcrs/frame.htm>>. Acesso em 11/01/2013.

VENTURIN, N. et al. Adubação mineral do angico-amarelo (*Peltophorum dubium* (spreng.) Taub.). **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.34, n.3, p.441-448, mar. 1999.

VIEIRA, C. R. *et al.* Descrição de sintomas visuais em função das deficiências de macronutrientes em mudas de cerejeira (*Amburana acreana*). **FLORESTA**, Curitiba. v. 41, n. 4, p. 789 – 796. 2011.

WALLAU, R. L. R.; SOARES A. P.; CAMARGOS; S. L. Concentração e acúmulo de macronutrientes em mudas de mogno cultivadas em solução nutritiva. **Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.6, n.1, p.1- 12, 2008.

WENDLING, I.; PAIVA, H. N.; GONÇALVEZ, W. **Técnicas de produção de mudas de plantas ornamentais**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005. v. 3, 203 p.

XU, Q. F.; TSAI, C. L.; TSAI, C. Y. Interaction of potassium with the form and amount of nitrogen nutrition on growth and nitrogen uptake of maize. *Journal of Plant Nutrition*, v. 15, n. 1, p. 23-33, 1992. In: MORAES NETO, S. P.; et al. Fertilização de mudas de espécies arbóreas nativas e exóticas. **Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.129-137, 2003.

Apêndices

Apêndice A - Análise de variâncias da massa seca da parte aérea (MSPA) de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr. Santa Maria, RS. 2012.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Modelo	27	124,891718	4,625619	7,53	<,0001
Erro	84	51,5684585	0,61391	-	-
Total corrigido	111	176,460176	-	-	-

R ²	Coef. de variação	Raiz QM erro	Média MSPA
0,707761	19,6838	0,78352	3,98055

FV	GL	SQ	QM	F Value	Pr > F
N	2	10,24	5,1198	8,34	0,0005*
P	2	34,227	17,114	27,88	<,0001*
K	2	0,8582	0,4291	0,7	0,5 ^{ns}
N*P	4	25,388	6,347	10,34	<,0001*
N*K	4	8,0676	2,0169	3,29	0,0149*
P*K	4	1,1554	0,2889	0,47	0,7572 ^{ns}
N*P*K	8	8,7906	1,0988	1,79	0,0904 ^{ns}

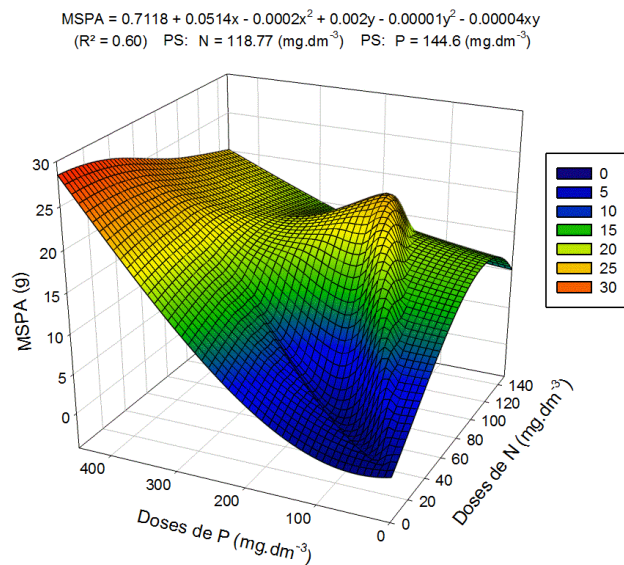
* Significativo a 5% de probabilidade, ns não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Apêndice B - Análise de interação N e P por superfície de resposta da interação para a variável massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de grábia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS, 2012.

Parâmetro	GL	Estimativa	Erro padrão	t	Pr > t
Intercepto	1	0,938453	0,496152	1,89	0,0613
N	1	0,061694	0,013957	4,42	<,0001
K	1	0,005277	0,013957	0,38	0,7061
N*N	1	-0,00024	0,000074506	-3,22	0,0017
K*N	1	-0,000131	0,000055533	-2,36	0,0203
K*K	1	0,000048182	0,000074506	0,65	0,5192

Superfície de Resposta
Análise canônica de Superfície de Resposta Com base em dados codificados

Fator	Valores críticos		Autovalores	Autovetores	
	Codificado	Não codificado		N	P
N	0,583608	118,77062	0,654906	-0,213728	0,97689
P	-0,357351	144,59593	-1,146908	0,976893	0,21373
Valor previsto no ponto estacionário: 3,910859			Ponto de sela é o ponto estacionário.		



Apêndice C - Análise de interação N e K por superfície resposta da interação para a variável massa seca da parte aérea (MSPA) de grábia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS. 2012.

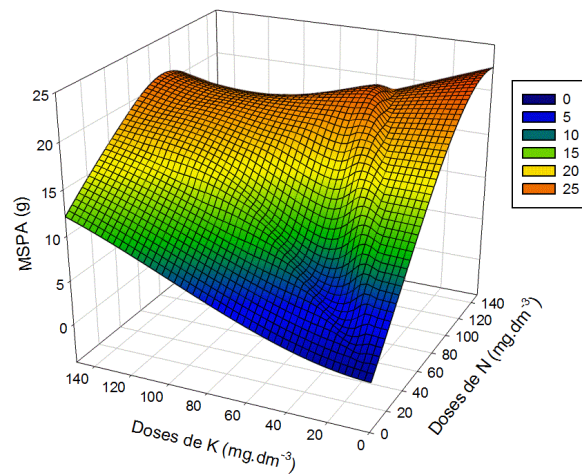
Parâmetro	GL	Estimativa	Erro padrão	t	Pr > t
Intercepto	1	0,938453	0,496152	1,89	0,0613
N	1	0,061694	0,013957	4,42	<,0001
K	1	0,005277	0,013957	0,38	0,7061
N*N	1	-0,00024	0,000074506	-3,22	0,0017
K*N	1	-0,000131	0,000055533	-2,36	0,0203
K*K	1	0,000048182	0,000074506	0,65	0,5192

Superfície de resposta
Análise canônica de Superfície de Resposta Com base em dados codificados

Fator	Valores críticos		Autovalores	Autovetores	
	Codificado	Não codificado		N	K
N	0,397463	104,809728	0,350782	-0,211773	0,977319
K	0,167761	87,582038	-1,427681	0,977319	0,211773
Valor previsto no ponto estacionário: 4,402596			Ponto de sela é o ponto estacionário.		

$$\text{MSPA} = 0,938453 + 0,061694x - 0,00024x^2 + 0,005277y + 0,000048182y^2 - 0,000131xy$$

(R² = 0,31) PS: N = 104,81 (mg.dm⁻³) PS: K = 87,58(mg.dm⁻³)



Apêndice D - Análise de variância da variável massa seca do sistema radicular (MSSR) de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS, 2012.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Modelo	27	349,138	12,931034	5,53	<,0001
Erro	84	196,257	2,3363937		
Total Corrigido	111	545,395			

R ²	Coef. de Variação	Raiz QM erro	MSSR média
0,640156	39,2461	1,528527	3,894723

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
N	2	200,492214	100,246107	42,91	<,0001*
P	2	46,4893042	23,2446521	9,95	0,0001*
K	2	5,2625924	2,6312962	1,13	0,3291 ^{ns}
N*P	4	11,6800693	2,9200173	1,25	0,2963 ^{ns}
P*K	4	4,6293549	1,1573387	0,5	0,7392 ^{ns}
N*K	4	7,9561602	1,9890401	0,85	0,4968 ^{ns}
N*P*K	8	32,7330573	4,0916322	1,75	0,0985 ^{ns}

* Significativo a 5% de probabilidade, ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Apêndice E - Análise de variância da variável massa total (MST) de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS, 2012.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Modelo	27	8055,69765	298,3592	4,87	<,0001*
Erro	84	5150,85869	61,31975		
Total Corrigido	111	13206,5563			

R ²	Coef. de variação	Raiz QM erro	MST média
0,609977	36,7379	7,83069	21,315

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
N	2	732,79418	366,39709	5,98	0,0037*
P	2	2650,374487	1325,18724	21,61	<,0001*
K	2	61,728959	30,86448	0,5	0,6063 ^{ns}
N*P	4	1634,67142	408,667855	6,66	0,0001*
N*K	4	684,908869	171,227217	2,79	0,0313*
P*K	4	136,957555	34,239389	0,56	0,6935 ^{ns}
N*P*K	8	630,049391	78,756174	1,28	0,2627 ^{ns}

* Significativo a 5% de probabilidade, ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Apêndice F - Análise de interação N e P por superfície resposta para a variável massa seca total (MST) de grávia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS, 2012.

Parâmetro	GL	Estimativa	Erro padrão	t	Pr > t
Intercept	1	0,487064	3,938698	0,12	0,9018
N	1	0,354307	0,110799	3,2	0,0018
P	1	0,004557	0,036933	0,12	0,902
N*N	1	-0,001387	0,000591	-2,34	0,0209
P*N	1	-0,000398	0,000147	-2,71	0,0079
P*P	1	0,000123	0,000065718	1,87	0,0638

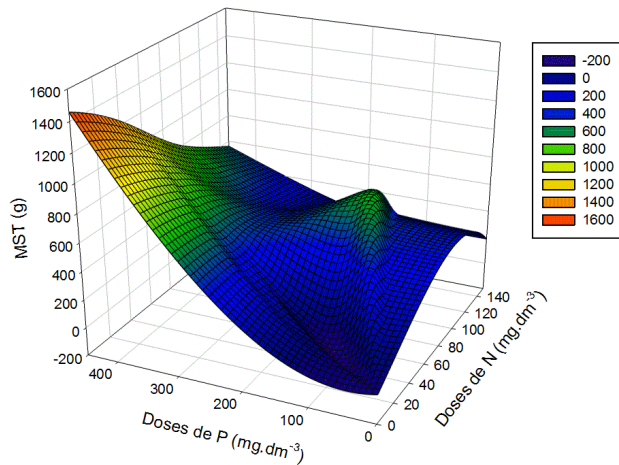
Superfície de Resposta

Análise canônica de Superfície de Resposta Com base em dados codificados

Fator	Valores críticos		Autovalores	Autovetores	
	Codificado	Não codificado		N	P
N	0,411197	105,83975	6,994348	-0,221473	0,975167
P	-0,321368	152,69224	-8,562411	0,975167	0,221473
Valor previsto no ponto estacionário: 19,584836			Ponto de sela é o ponto estacionário.		

$$MST = 0.487064 + 0.354307x - 0.00387x^2 + 0.004557y + 0.000123y^2 - 0.000398xy$$

(R² = 0,41) DMET: N = 105,84 (mg.dm⁻³) DMET: P = 152,69 (mg.dm⁻³)

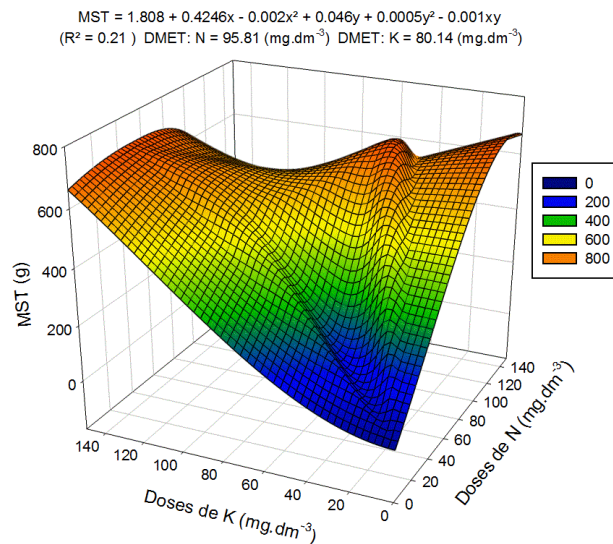


Apêndice G - Análise de interação N e K por superfície resposta da interação para a variável massa seca total (MST) de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS, 2012.

Parâmetro	GL	Estimativa	Erro padrão	t	Pr > t
Intercepto	1	1,80795	4,548915	0,4	0,6918
N	1	0,42455	0,127965	3,32	0,0012
K	1	0,045972	0,127965	0,36	0,7201
N*N	1	-0,00168	0,000683	-2,46	0,0155
K*N	1	-0,001281	0,000509	-2,52	0,0134
K*K	1	0,000479	0,000683	0,7	0,485

Superfície de Resposta
Análise canônica de Superfície de Resposta Com base em dados codificados

Fator	Valores críticos		Autovalores	Autovetores	
	Codificado	Não codificado		N	K
N	0,277414	95,806041	3,680522	-0,264525	0,964379
K	0,0685	80,137525	-10,438407	0,964379	0,264525
Valor previsto no ponto estacionário: 23,987227			Ponto de sela é o ponto estacionário.		



Apêndice H - Análise de variância da variável área foliar (AF) de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS. 2012.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Modelo	27	4082968	151221,05	4,34	<,0001
Erro	84	2928349	34861,294		
Total corrigido	111	7011317			

R ²	Coef. de Variação	Raiz QM erro	AF média
0,58234	30,7139	186,712	607,91

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
N	2	1868702,5	934351,3	26,8	<,0001*
P	2	460727,52	230363,8	6,61	0,0022*
K	2	4522,453	2261,227	0,06	0,9372 ^{ns}
N*P	4	119583,46	29895,87	0,86	0,493 ^{ns}
P*K	4	73845,712	18461,43	0,53	0,7143 ^{ns}
N*K	4	163727,66	40931,91	1,17	0,3281 ^{ns}
N*P*K	8	155263,97	19408	0,56	0,8102 ^{ns}

* Significativo a 5% de probabilidade, ns não significativo ao nível de 5% de probabilidade,

Apêndice I - Análise de variância da variável comprimento radicular de mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.). Santa Maria, RS. 2012.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
Modelo	27	95,6786	3,543652	3,75	<,0001
Erro	84	79,4035	0,94528		
Total corrigido	111	175,082			

R ²	Coef de variação	Raiz QM erro	CR média
0,546479	19,5988	0,97226	4,96078

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > F
N	2	31,309978	15,65498881	16,56	<,0001*
P	2	11,048488	5,52424407	5,84	0,0042*
K	2	1,7074047	0,85370233	0,9	0,4092 ^{ns}
N*P	4	8,149697	2,03742426	2,16	0,0811 ^{ns}
N*K	4	9,5633523	2,39083808	2,53	0,0465*
P*K	4	2,3330089	0,58325222	0,62	0,6516 ^{ns}
N*P*K	8	4,4099026	0,55123782	0,58	0,7891 ^{ns}

* Significativo a 5% de probabilidade, ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Apêndice J - Análise de interação N e K por superfície de resposta para a variável comprimento radicular de grávia (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), Santa Maria, RS. 2012.

Parâmetro	GL	Estimativa	Erro padrão	t	Pr > t
Intercept	1	3,17537	0,503659	6,3	<,0001
N	1	0,013492	0,014168	0,95	0,3431
K	1	0,037331	0,014168	2,63	0,0097
N*N	1	-0,000015667	0,000075633	-0,21	0,8363
K*N	1	-0,00021	0,000056374	-3,73	0,0003
K*K	1	-0,000080958	0,000075633	-1,07	0,2869

Superfície de Resposta
Análise canônica de Superfície de Resposta Com base em dados codificados

Fator	Valores críticos		Autovalores	Autovetores	
	Codificado	Não codificado		N	K
N	0,929219	144,691392	0,347684	0,805122	-0,593109
K	-0,432165	42,58764	-0,891202	0,593109	0,805122
Valor previsto no ponto estacionário: 4,946379			Ponto de sela é o ponto estacionário.		

$$CR = 3.1754 + 0.0135x - 0.0000157x^2 - 0.0373y + 0.000081y^2 - 0.00021xy$$

(R²= 0.27) PS: N = 144.69 (mg.dm⁻³) PS: P = 42.59 (mg.dm⁻³)

