



**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**

Respostas nutricionais e características fotossintéticas de espécies pioneiras submetidas a diferentes tratamentos de adubação em pastagens abandonadas na Amazônia central

CARLOS EDUARDO MOURA DA SILVA

Dissertação apresentada ao Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA / UFAM, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, área de concentração em Ciências de Florestas Tropicais.

Manaus – AM

2005



**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**

***Respostas nutricionais e características fotossintéticas de
espécies pioneiras submetidas a diferentes tratamentos de
adubação em pastagens abandonadas na Amazônia central***

CARLOS EDUARDO MOURA DA SILVA

Orientador: Dr. JOSÉ FRANCISCO DE CARVALHO GONÇALVES

Dissertação apresentada ao Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA / UFAM, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, área de concentração em Ciências de Florestas Tropicais.

Fontes Financiadoras:

Projeto CTPETRO / FINEP (0920/00)
Projeto LBA (ND11)

**Manaus – AM
2005**

Silva, Carlos Eduardo Moura da

Respostas nutricionais e características fotossintéticas de espécies pioneiras submetidas a diferentes tratamentos de adubação em pastagens abandonadas na Amazônia central. / Carlos Eduardo Moura da Silva – Manaus, 2005.

ix 80f.

Dissertação (mestrado) – INPA / UFAM, 2005.

1. Área degradada 2. Sucessão Secundária 3. Nutrição Florestal 4. Ecofisiologia Vegetal

CDD 19. ed. 634.956

Sinopse:

As respostas nutricionais e as características fotossintéticas de três espécies pioneiras (*Vismia japurensis*, *Bellucia grossularioides* e *Laetia procera*) foram estudadas nas plantas crescidas em áreas degradadas na Amazônia central com o objetivo de testar a hipótese que as diferentes espécies que compõem o quadro sucessional nessas áreas degradadas apresentam estratégias diferenciadas no que concerne à obtenção e utilização de recursos primários em diferentes períodos de precipitação após a correção da acidez do solo e a aplicação e o uso de adubação fosfatada.

Palavras-chave:

Área degradada; Sucessão Secundária; Nutrição Florestal; Ecofisiologia Vegetal;

Aos meus pais, Maria Isabel Moura da Silva e Manuel Martins da Silva

Às minhas irmãs, Carmem e Claudia e ao meu irmão, Claudio

À minha esposa, Alciene Feitosa

À minha filha, Carla Yasmin

OFEREÇO

A Deus
DEDICO

AGRADECIMENTOS

- A Deus, por ter iluminado mais uma importante fase da minha vida.
- Aos meus pais, pelo incentivo que sempre me deram para continuar os estudos.
- Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, pelo incentivo no aprendizado científico.
- Ao Programa de Pós-Graduação de Ciências de Florestas Tropicais, pela oportunidade.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa concedida.
- À Embrapa Amazônia Ocidental, pela disponibilização da área experimental.
- Ao Dr. José Francisco de Carvalho Gonçalves, pela orientação, confiança, respeito, amizade e, principalmente, pela valiosa contribuição para a minha carreira profissional.
- Ao Dr. Ronaldo Ribeiro de Moraes, pela amizade, colaboração e pela considerável ajuda logística durante a realização deste estudo.
- Ao Dr. Flávio Luizão, pelo apoio na disponibilização de veículos para a realização das coletas e pelas valiosas sugestões no aperfeiçoamento da dissertação.
- Ao Glaudecy Ribeiro, pela amizade e apoio técnico durante as coletas no campo e atividades realizadas no laboratório, pois, sem sua ajuda, tudo teria sido mais difícil.
- Ao Ulysses Santos Jr., pela valiosa colaboração na elaboração do plano de dissertação e delineamento experimental.
- Ao Fred Takahashi, pela contribuição técnica no manuseio dos equipamentos utilizados nas coletas dos dados.
- Ao projeto LBA, em particular ao Sr. Rubenildo e a Sra. Ruth, pela compreensão e paciência na liberação do veículo para a realização das coletas.
- Ao Ted Feldpausch, pelo apoio durante a implantação do experimento e valiosas sugestões na elaboração do plano experimental.
- A toda a equipe do Laboratório de Fisiologia e Bioquímica Vegetal do INPA: Adamir da Rocha Nina Junior; Andreia Varmes Fernandes; Eva Maria Alves Cavalcante Atroch; Larissa Ramos Chevreuil; Maria Astrid Rocha Liberato; Renata Braga Souza Lima; e Zilvanda Lourenço de Oliveira, pelos momentos de alegria durante os dias que convivemos juntos.
- A toda a equipe do Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA: Tânia Pimentel, Edivaldo Chaves, Jonas Filho; Orlando e Mozanei, pela valiosa ajuda durante a realização das análises químicas de solos e plantas.
- Aos meus amigos da turma de Mestrado 2003, pelos agradáveis momentos compartilhados.

Meus sinceros agradecimentos

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iii
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUÇÃO GERAL	1
II. OBJETIVOS	4
Objetivo Geral	4
Objetivos Específicos	4
CAPÍTULO I: Estado nutricional e condições hídricas de espécies pioneiras em diferentes períodos sazonais após correção da acidez do solo e adubação fosfatada em área degradada na Amazônia central.	5
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1. Local de estudo	8
2.2. Histórico da área e implantação do experimento.....	9
2.3. Determinação da fertilidade do solo	11
2.4. Determinação da concentração dos nutrientes foliares	11
2.5. Determinação da área foliar específica	12
2.6. Determinação do potencial hídrico foliar.....	12
2.7. Delineamento experimental e análise estatística	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
3.1. Características químicas e fertilidade dos solos	13
3.2. Estado nutricional das plantas	20
3.3. Área foliar específica e potencial hídrico foliar	31
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36

CAPÍTULO II: Trocas gasosas e fluorescência da clorofila <i>a</i> de espécies pioneiras após correção da acidez do solo e adubação fosfatada sobre área degradada na Amazônia Central.....	37
1. INTRODUÇÃO.....	37
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
2.1. Local de estudo.....	40
2.2. Determinação das trocas gasosas em folhas.....	40
2.3. Determinação da fluorescência da clorofila <i>a</i>	40
2.4. Análise estatística.....	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
3.1. Trocas gasosas.....	42
3.2. Fluorescência da clorofila <i>a</i>	50
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
III. CONCLUSÕES.....	55
IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
V. ANEXOS.....	69

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

- Figura 1: Localização da área de estudo (Estação Experimental da Embrapa, km 53 da BR-174, Município de Manaus-AM-Brasil). 8
- Figura 2: Médias mensais das precipitações pluviométricas durante 26 anos e valores mensais de 2004 (Dados obtidos na Estação Agrometeorológica da Embrapa-CPAA). 9
- Figura 3: Folhas das espécies *Vismia japurensis* (a); *Bellucia grossularioides* (b); e *Laetia procera* (c) utilizadas nos estudos. 10
- Figura 4: Croqui do experimento localizado na área experimental da Embrapa – Rodovia BR-174, km 53, Manaus-AM, mostrando a distribuição dos tratamentos controle (T1); aplicação de fósforo (T2); calagem e aplicação de fósforo (T3); e calagem, aplicação de gesso agrícola e de fósforo (T4). 10
- Figura 5: Potencial hidrogeniônico (pH) e teores de Al nas diferentes profundidades dos solos nos tratamentos P, P+Cal e P+Cal+G em relação ao tratamento controle. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=3). 13
- Figura 6: Teores de C e de N nas diferentes profundidades dos solos nos tratamentos P, P+Cal e P+Cal+G em relação ao tratamento controle. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=3). 15
- Figura 7: Teores de P e de K nas diferentes profundidades dos solos nos tratamentos P, P+Cal e P+Cal+G em relação ao tratamento controle. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=3). 16
- Figura 8: Teores de Ca e de Mg nas diferentes profundidades dos solos nos tratamentos P, P+Cal e P+Cal+G em relação ao tratamento controle. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=3). 18
- Figura 9: Teores de Fe, Mn e de Zn nas diferentes profundidades dos solos nos tratamentos P, P+Cal e P+Cal+G em relação ao tratamento controle. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=3). 19
- Figura 10: Equilíbrio nutricional dos cátions foliares K, Ca e Mg (%) de três espécies pioneiras, em diferentes tratamentos de correção da acidez do solo e adubação fosfatada durante os diferentes períodos sazonais. 30
- Figura 11: Área foliar específica (AFE), potencial hídrico foliar ao meio-dia (Ψ_{md}) e teores de N de três espécies pioneiras, em diferentes tratamentos de correção da acidez do solo e adubação fosfatada durante os diferentes períodos sazonais. Os valores são médias e as linhas verticais são desvios padrão (n=3). 35

Capítulo II

- Figura 1: Parâmetros da fluorescência da clorofila *a* de três espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez e adubação fosfatada. 51

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1: Teores foliares dos macronutrientes de três espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez e adubação fosfatada.	21
Tabela 2: Teores foliares dos micronutrientes de três espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez e adubação fosfatada.	27
Tabela 3: Área foliar específica ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$) de três espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez e adubação fosfatada.	31
Tabela 4: Potencial hídrico foliar na antemanhã (Ψ_{am}) e ao meio-dia (Ψ_{md}) de três espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez e adubação fosfatada.	32

Capítulo II

Tabela 1: Fotossíntese líquida (A), taxa de respiração (R_d) e taxa transportadora de elétrons (J) de espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez do solo e adubação fosfatada.	42
Tabela 2: Fotorrespiração (P_r), taxa de oxigenação (V_o) e taxa de carboxilação (V_c) de espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez do solo e adubação fosfatada.	45
Tabela 3: Condutância estomática (g_s), taxa de transpiração (E), eficiência no uso da água (EUA) e eficiência intrínseca do uso da água ($EIUA$) de espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez do solo e adubação fosfatada.	47

RESUMO

As fronteiras agropecuárias vêm crescendo de forma exponencial na Amazônia, contribuindo significativamente para o aumento do desmatamento na região. No caso da pecuária, grandes áreas transformadas no início em pastagens tem apresentado estágios avançados de degradação, chegando ao completo abandono. Nessas áreas abandonadas, surge uma sucessão secundária emergente composta, principalmente, por espécies pioneiras como as do gênero *Vismia*, *Bellucia* e *Laetia*. Com o objetivo de investigar alguns aspectos fisiológicos de espécies pioneiras que revegetam esses sítios, formulou-se hipótese de que a melhoria do ambiente edáfico proporcionaria condições adequadas para entender as diferentes estratégias para a captação e utilização dos recursos primários por três das espécies mais comuns nesses ambientes degradados: *Vismia japurensis*, *Bellucia grossularioides* e *Laetia procera*. O estudo foi conduzido numa área de sucessão secundária com 6 anos após o abandono, localizada na Estação Experimental da Embrapa situada no km 53 da BR-174 (2° 34' S, 60° 02' W), município de Manaus, AM, Brasil. O experimento foi estruturado para conter quatro tratamentos: área controle (C); tratamento com aplicação de fosfato (P); tratamento com aplicação de fosfato e correção da acidez do solo (P+Cal); e tratamento com aplicação de fosfato, correção da acidez do solo e aplicação de gesso agrícola (P+Cal+G). Após estabelecidos os tratamentos, as seguintes variáveis foram determinadas: as concentrações dos nutrientes no solo e nas plantas; a área foliar específica; o potencial hídrico foliar; e parâmetros envolvidos nas trocas gasosas e na eficiência fotoquímica do aparato fotossintético. Foram encontradas maiores concentrações de P, Ca e Mg nas camadas superficiais dos tratamentos que receberam adubação fosfatada e correção da acidez do solo. Com relação aos teores de nutrientes foliares, observou-se comportamento diferenciado entre as espécies, entre os diferentes tratamentos e entre os distintos períodos de precipitação. O fósforo parece não ser limitante para o sucesso das espécies que crescem nesses solos degradados, uma vez que, apesar da adubação ter elevado as concentrações nas camadas superficiais do solo, o mesmo não se refletiu em teores foliares. Adicionalmente, verificou-se que *B. grossularioides* é muito exigente em N, ao passo que *L. procera* acumulou mais Ca e Mn nas folhas comparada com as demais espécies. Quanto às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica do fotossistema II, as espécies que apresentaram as maiores e menores respostas foram *V. japurensis* e *L. procera*, respectivamente. Portanto, conclui-se que as espécies estudadas apresentaram estratégias diferenciadas com respeito à captação e utilização dos recursos primários, sendo *V. japurensis* a espécie mais eficiente na utilização desses recursos, fato que pode ser comprovado pela maior frequência dessa espécie nesses sítios perturbados.

ABSTRACT

The expansion of lands used for agriculture and cattle ranching is growing at an exponential rate in the Amazon, in turn, contributing significantly to the increase deforestation in the region. In the case of ranching, large areas once transformed into pastures have shown advanced stages of degradation, such to the point of abandonment. In these abandoned areas, there is an emerging secondary succession composed mainly of pioneer species like those of genus *Vismia*, *Bellucia*, and *Laetia*. With the objective of investigating the processes of the pioneer species that are revegetating these lands, the hypothesis was formulated that the improvement of the edafic environment would produce appropriate conditions for understanding the different strategies for capture and utilization of primary resources for the three species most common to these degraded environments: *Vismia japurensis*, *Bullucia grossularioides*, and *Laetia procera*. The study was carried out in an area of secondary succession that was abandoned for 6 years, located at Embrapa's Experimental Station at kilometer 54 of highway BR-174 (2° 34' S, 60° 02' W), in the municipality of Manaus, AM, Brazil. The experiment was structured with four treatments: control treatment (C); treatment with phosphate applied (P); treatment with phosphate and soil acid correction applied (P+Cal); and treatment with phosphate, soil acid correction, and agricultural gypsum applied (P+Cal+G). Once the treatments were established, the following variables were identified: nutrient concentrations in both the soils and the plants; specific leaf area; leaf water potential; and parameters related to gas exchange and photochemical efficiency in the photosynthetic mechanism. The results showed greater concentrations of P, Ca, and Mg in the surface layers of the treatments that received phosphate fertilizer and soil acid correction. In relation to leaf nutrient levels, the species showed a varied behavior between treatments and periods of precipitation. The nutrient P did not seem to limit the success of the species growing in the degraded soils, however, even despite the fact that the fertilizer elevated the nutrient concentrations in the surface layers of the soil, this was not reflected in the nutrient levels for the leaves. In addition, it was observed that *B. grossularioides* was very dependent on N and *L. procera* accumulated more Ca and Mn in its leaves when compared with the other species. In regards to the results of the gas exchange and photosystem II photochemical efficiency, the species that showed the best and worst responses were *V. japurensis* and *L. procera*, respectively. From this data it can be concluded that these species showed varied strategies for capture and use of primary resources, with *V. japurensis* proving to be the most efficient in its use of the resources, which may be confirmed by the fact that it is the species most frequently found in such degraded areas.

Respostas nutricionais e características fotossintéticas de espécies pioneiras submetidas a diferentes tratamentos de adubação sobre áreas degradadas na Amazônia central.

I. INTRODUÇÃO GERAL

A floresta amazônica constitui a mais extensa floresta tropical úmida do planeta, e a região conhecida como Amazônia Legal, representa aproximadamente 61% do território brasileiro com área de 5.217.423 km² (Brasil, 2005). Contendo a maior extensão de florestas tropicais úmidas do planeta, a floresta amazônica apresenta quase 300 milhões de hectares de floresta densa e 240 milhões de hectare de floresta aberta, com um estoque total de madeiras comerciáveis da ordem de 45 bilhões de metros cúbicos de madeira em pé (Toniollo & Uhl, 1996). No entanto, nas últimas décadas, a floresta tropical natural da Amazônia vem sendo reduzida drasticamente em decorrência da implantação de grandes projetos que buscam o desenvolvimento da região e, como consequência, grandes proporções das áreas desmatadas são destinadas à formação de pastagens e à agricultura de subsistência (Homma *et al.*, 1998; Nepstad *et al.*, 2000; Alves, 2001,). Essas atividades têm sido apontadas como as causas predominantes do desmatamento na Amazônia (Fearnside, 2002; D'Avila, 2003; Toledo, 2004; Brandão *et al.*, 2005). Nesse cenário, a pecuária em larga escala, ao longo dos anos, tem sido responsável por 80% de toda a perda da floresta, ou seja, 58,7 milhões de ha, o que equivale a 10% da floresta amazônica (Fearnside, 1993; Fearnside & Barbosa, 1998; Veiga *et al.*, 2004). Além do mais, a grande extensão das áreas transformadas em pastagens na Amazônia já se apresenta em diferentes estágios de degradação (Uhl *et al.*, 1988b). Esse fato pode ser caracterizado como consequência da utilização de práticas inadequadas de manejo da área. O manejo inadequado da pastagem, além de concorrer para o declínio mais rápido da produtividade, também provoca o aumento da população de plantas invasoras, erosão pela ação direta das chuvas, compactação do solo e perdas por lixiviação da maior parte dos nutrientes disponíveis no solo (Nepstad *et al.*, 1991). Via de regra, a formação das pastagens na região amazônica inclui o corte e a queima da vegetação e, nesse processo, grandes quantidades de nutrientes são adicionados ao solo por meio das cinzas, aumentando de forma significativa sua fertilidade (Uhl, *et al.*, 1982; Zahawi & Augspurger, 1999). No entanto, essa fertilidade não se mantém por muito tempo. Os teores de nutrientes, em

particular do fósforo, declinam acentuadamente com o passar do tempo, pois, a baixa disponibilidade deste nutriente tem sido identificada como a principal causa para o insucesso das pastagens estabelecidas na Amazônia (Serrão *et al.*, 1982). A alta exigência de fósforo pelas gramíneas, associada às perdas pela erosão, retirada pelos animais em pastejo e a competição que as plantas invasoras exercem, implica numa queda da produtividade e conseqüente degradação das pastagens, tornando a pecuária inviável e, por conseguinte, levando ao abandono da área. Neste ambiente surge uma cobertura de sucessão secundária espontânea, geralmente dominada por espécies dos gêneros *Vismia*, *Bellucia*, *Laetia*, etc (Serrão & Homma, 1991; Meirelles, 1993; Dias Filho, 1998; Mesquita *et al.*, 2001; Monaco *et al.*, 2003). Contudo, a regeneração natural em áreas de pastagens degradadas é mais lenta quando comparada com a regeneração de áreas onde a floresta natural foi cortada, mas não queimada e/ou utilizada mais intensamente. Nas pastagens abandonadas, há uma inibição no estabelecimento das plantas, provavelmente em decorrência da reduzida quantidade de nutrientes no solo, alterações nas propriedades físicas do solo resultante do pisoteio animal, baixa quantidade de sementes no banco de sementes do solo, baixo aporte de sementes vindas da vegetação adjacente, predação e competição com outras espécies (Brown & Lugo, 1994; Aide *et al.*, 1995; Parrota *et al.*, 1997; Miriti, 1998). Desta forma, as plantas que se desenvolvem nesses sítios apresentam diferentes estratégias ecofisiológicas que podem ser determinantes para o seu crescimento. Assim, espera-se que somente espécies mais robustas e agressivas, do ponto de vista de absorção, uso e concentração de recursos primários (luz, CO₂, H₂O e nutrientes), sejam capazes de revegetar determinados sítios com características de pastagens degradadas.

No que diz respeito ao recurso luz, mesmo em regiões onde este fator não é escasso, o crescimento das plantas está diretamente ligado à sua capacidade de captar a energia luminosa e transformá-la em energia química no processo fotossintético, bem como, reduzir o CO₂ a produtos que serão utilizados pela planta em outras vias metabólicas (Krall & Edwards, 1992). No entanto, esses processos sofrem alterações em função de fatores internos como condutância estomática, transpiração e concentração de nutrientes, que, por sua vez, estão ligados diretamente a fatores externos como a disponibilidade de nutrientes e água no solo (Kull, 2002). Assim, o fornecimento adequado de nutrientes (macro e micronutrientes) é um fator de grande importância para a planta, pois, grande parte dos nutrientes presentes na solução do solo participa do processo fotossintético e de outros processos fundamentais para a sobrevivência da planta (Lambers *et al.*, 1998). O fósforo, por exemplo, é considerado um elemento limitante para o crescimento das plantas,

pois, desempenha funções importantes no metabolismo do carbono, além de estar envolvido na conservação e transferência de energia nas células (Heldt *et al.*, 1991; Grant *et al.*, 2001; Taiz & Zeiger, 2004). Como os solos de áreas degradadas por pastagens na Amazônia são, geralmente, ácidos e apresentam reduzida disponibilidade de nutrientes, o crescimento das plantas torna-se severamente comprometido (Treeby *et al.*, 1987; Dias Filho, 1998). Por outro lado, a correção dessa acidez, pela aplicação de calcário, traz grandes benefícios ao crescimento das plantas, dentre os quais se destacam o fornecimento de Ca e de Mg, a elevação do pH, a diminuição da toxicidade por Al, a correção do excesso nas concentrações de Mn e de Fe, e, como consequência, pode aumentar a disponibilidade de P e da atividade microbológica (Munson, 1982; Lopes *et al.*, 2002).

A melhoria do ambiente edáfico e, em especial, da fertilidade do solo, se faz necessário para o melhor crescimento de plantas sob condições hídricas adequadas. O fato é que, em condições de baixa disponibilidade de água, o aparato estomático é um dos primeiros componentes da planta a ser afetado, tendo como consequência imediata a redução das trocas gasosas (Buckley *et al.*, 1999; Nilsen & Orcutt, 1996). Isto ocorre porque os estômatos controlam a entrada de CO₂ para dentro das folhas e o vapor d'água para a atmosfera. Assim, a eficiência do uso da água é modificada onde as condições da difusão de CO₂ ou da água são alteradas (Lawlor, 2002; Brodribb & Holbrook, 2003).

Portanto, considerando as alterações dos fatores supracitados (H₂O e nutrientes), é possível que as diferentes espécies que compõem a sucessão secundária, mesmo participando de determinado grupo sucessional, no caso as pioneiras, apresentem comportamentos ecofisiológicos diferenciados para obter e utilizar os recursos primários. Sendo assim, a compreensão desses mecanismos e/ou estratégias utilizada por plantas mais agressivas em revegetar sítios perturbados, pode contribuir, grandemente, para o conhecimento das espécies mais aclimatadas ao crescimento sobre áreas degradadas na Amazônia central.

II. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Estudar o estado nutricional, as condições hídricas e as características fotossintéticas de espécies pioneiras submetidas a diferentes tratamentos de adubação fosfatada e correção da acidez do solo em áreas degradadas na Amazônia central.

Objetivos Específicos

- Determinar, sazonalmente, os teores de macro e micronutrientes foliares e a eficiência do uso dos nutrientes pelas plantas.
- Estudar as possíveis variações no potencial hídrico foliar das plantas nos períodos chuvoso e seco.
- Relacionar a fotossíntese líquida, a taxa de transpiração, a condutância estomática e a taxa de respiração das espécies com as diferentes condições de tratamento.
- Estudar a fluorescência da clorofila *a* como indicador de estresse e relacionar com as diferentes condições de tratamento.

CAPÍTULO I: Estado nutricional e condições hídricas de espécies pioneiras em diferentes períodos sazonais após correção da acidez do solo e adubação fosfatada em área degradada na Amazônia central.

1. INTRODUÇÃO

A floresta amazônica é de grande importância mundial, pois abriga a maior biodiversidade vegetal do planeta, além de ter um papel importante no clima global (Fearnside, 1999). Essa imensa área de floresta, nas últimas décadas, passou por uma intensa e acelerada integração ao padrão de crescimento econômico nacional na qualidade de reserva de recursos naturais para a industrialização emergente e como fronteira para grandes frentes migratórias (Alves, 2001). Esse processo de ocupação acelerou-se e grandes proporções das áreas desmatadas na Amazônia foram destinadas à formação de pastagens (Homma *et al.*, 1998; Alves, 2001). Sem manejo adequado e devido à baixa fertilidade natural dos solos da região, a produtividade dessas áreas declinou rapidamente e as pastagens foram abandonadas, dando lugar a uma sucessão secundária emergente (Uhl *et al.*, 1988a; Nepstad *et al.*, 1991). Contudo, a regeneração natural da floresta, nessas áreas que se encontram em estado de degradação, muitas vezes, é um processo lento e incerto, dificultado por uma combinação de fatores bióticos (competição entre plantas, ataque de patógenos, doenças, etc) ou abióticos (luz, temperatura, CO₂, H₂O e nutrientes) que, de maneira geral, afetam crescimento e o desenvolvimento das plantas (Parrotta, 1992). Do ponto de vista do crescimento, o maior ganho em biomassa vegetal está diretamente relacionado com o melhor desempenho do aparato fotossintético. Contudo, a fotossíntese pode sofrer alterações em função das mudanças dos fatores de sítio, seja nas reações fotoquímicas ou nas reações bioquímicas. A etapa fotoquímica, por exemplo, reage, primeiramente, em função da disponibilidade de luz, enquanto que as reações bioquímicas, por sua vez, dependem da temperatura, disponibilidade de água e de nutrientes minerais e, naturalmente, das concentrações de CO₂ (Taiz & Zeiger, 2004).

Dentre os fatores abióticos, os nutrientes possuem funções específicas na planta e, por essa razão, são essenciais para o seu crescimento e desenvolvimento. Os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S), por exemplo, são exigidos em grandes quantidades para suprir as necessidades da planta, e os micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn e Cl) são necessários em menores quantidades, porém, todos possuem funções específicas e não podem ser substituídos por outros elementos químicos, conforme os critérios da

essencialidade (Host, 1988; Drechsel & Zech, 1993; Marschner, 1995). A influência do estado nutricional da planta sobre a fotossíntese ocorre de muitas maneiras, ou seja, alguns nutrientes minerais (N, K, Mg, S, Fe e Mn) são exigidos para a formação dos cloroplastos, outros para a síntese de proteínas ou pigmentos cloroplastídicos, participam da cadeia transportadora de elétrons, bem como, têm influência no crescimento e na morfogênese da planta (Wykoff *et al.*, 1998). Os efeitos bioquímicos sobre a fotossíntese e a respiração acontecem porque os elementos minerais são componentes integrantes das enzimas e dos pigmentos ou, ainda, ativadores diretos do processo fotossintético e outros processos metabólicos da planta (Amthor, 1995). De maneira mais específica e sem tirar a importância dos demais macro e micronutrientes, os nutrientes N e P são considerados determinantes no crescimento das plantas (Verhoeven *et al.*, 1996; Gomes *et al.*, 2001). Assim, tem sido estabelecido que a razão N:P com valores menores que 14 pode ser indício da limitação desses nutrientes para o crescimento da planta (Koerselman & Meuleman, 1996; Tessier & Raynal, 2003). Por outro lado, no metabolismo do carbono, ao participar na formação de poder redutor (NADPH), o P é usado na redução do CO₂, formação de açúcares fosfatados, e afeta significativamente a exportação de açúcares dos cloroplastos (Heldt *et al.*, 1991; Marschner, 1995; Grant *et al.*, 2001). O transporte de triosefosfato do cloroplasto para o citossol pode ser influenciado, de forma que, a alta concentração desse elemento inibe a síntese de amido, pois, a ADP-glucose pirofosforilase é inibida pelo fosfato inorgânico (P_i) e estimulada pela triosefosfato, portanto, a razão P_i / triosefosfato influencia fortemente esse processo (Portis Jr., 1982). Adicionalmente, o fósforo é facilmente redistribuído pelo floema, onde se move como P inorgânico ou como fosforilcolina (Schachtman *et al.*, 1998). Ele é absorvido pelas plantas, principalmente na forma de H₂PO₄⁻ e, menos rapidamente, na sua forma divalente HPO₄²⁻ (Tisdale *et al.*, 1993; Peres, 2002). Porém, o controle da abundância relativa dessas duas formas é governado pelo pH do solo e as suas concentrações na solução do solo, geralmente, são baixas, porque são rapidamente adsorvidos nas superfícies dos colóides do solo ou são precipitados como fosfatos de cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe) e alumínio (Al) (van Raij *et al.*, 2001). Dessa forma, em solos ácidos, como geralmente ocorrem na Amazônia, o P é considerado o elemento mais limitante, seguido do K e N, podendo estes solos apresentarem baixa disponibilidade destes nutrientes e, conseqüentemente, as plantas exibirem deficiências nutricionais (Serrão *et al.*, 1982; Uhl *et al.*, 1988b; Dias Filho, 1998). Assim, à semelhança de outras regiões do Brasil que possuem solos ácidos, o uso do calcário corresponde a um

importante insumo na correção da acidez, pois promove o aumento da disponibilidade de P, eleva o pH do solo, além de ocasionar um aumento no teor de Ca e Mg (Lopes *et al.*, 2002; Albuquerque *et al.*, 2003). Porém, esses efeitos se restringem à camada do solo onde foi incorporado, não trazendo grandes benefícios às camadas mais profundas dos solos ácidos. Nesse caso, a aplicação do gesso agrícola pode ser uma alternativa viável, pois, além de fornecer Ca e S às plantas, promove o movimento de cátions para as regiões mais profundas do solo, aumentando os teores de bases e diminuindo a saturação por Al (Malavolta, 1992b; Silva *et al.*, 1992; Marques *et al.*, 1999).

Associado à melhoria das condições edáficas, a disponibilidade hídrica também define o comportamento das plantas, especialmente em ecossistemas naturais, em função das mudanças no status hídrico do sistema solo-planta imposto pelos diferentes períodos de precipitação. A deficiência hídrica reduz a assimilação de CO₂ devido ao fechamento dos estômatos, influenciando negativamente no processo fotossintético e, também, devido ao prejuízo causado pelo transporte de elétrons e fosforilação oxidativa (Taiz & Zeiger, 2004). Segundo Chaves (1991), o efeito do déficit hídrico nas espécies vegetais também depende de sua intensidade, duração e da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente. Assim, uma planta aclimatada se torna eficiente ao moderar a perda de água e, ao mesmo tempo, permitir a absorção suficiente de CO₂ para a realização do processo fotossintético (Larcher, 2000).

Portanto, é possível que espécies pioneiras apresentem respostas diferenciadas quanto ao uso dos recursos primários quando submetidas a modificações no ambiente edáfico, sob a forma de melhor disponibilidade de P fornecido em diferentes condições e sob alterações na disponibilidade hídrica, como consequência das mudanças na precipitação. Desta forma, o objetivo deste estudo foi obter respostas do estado nutricional e das condições hídricas de espécies pioneiras crescidas em áreas degradadas na Amazônia central, após correção da acidez do solo e adubação fosfatada em diferentes períodos de precipitação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de estudo

O experimento foi conduzido numa área de pastagens degradada, localizada no km 53 da rodovia BR-174, ao norte da cidade de Manaus (2°34' S, 60°02' W) (Figura 1). O solo é classificado como Latossolo Amarelo, distrófico, isohipertérmico, argiloso, caulínítico, com aproximadamente 80-85% de argila. Apresenta baixa CTC, sendo pouco fértil. Por outro lado, este solo é fortemente agregado e bem drenado (van Wambeke, 1992). O clima da região é tropical úmido do tipo Am, segundo a classificação de Köppen (1948), com temperatura média de 26,7 °C. A precipitação anual em Manaus é de 2200 mm, tendo março e abril como os meses mais chuvosos, com uma precipitação média de 300 mm. O período mais seco corresponde aos meses de agosto a outubro que apresentam uma precipitação média abaixo de 100 mm (Figura 2). Nos anos que ocorre o fenômeno climático conhecido como “*el Nino*”, a precipitação média pode ficar abaixo de 50 mm (Lovejoy & Bierregaard, 1990).

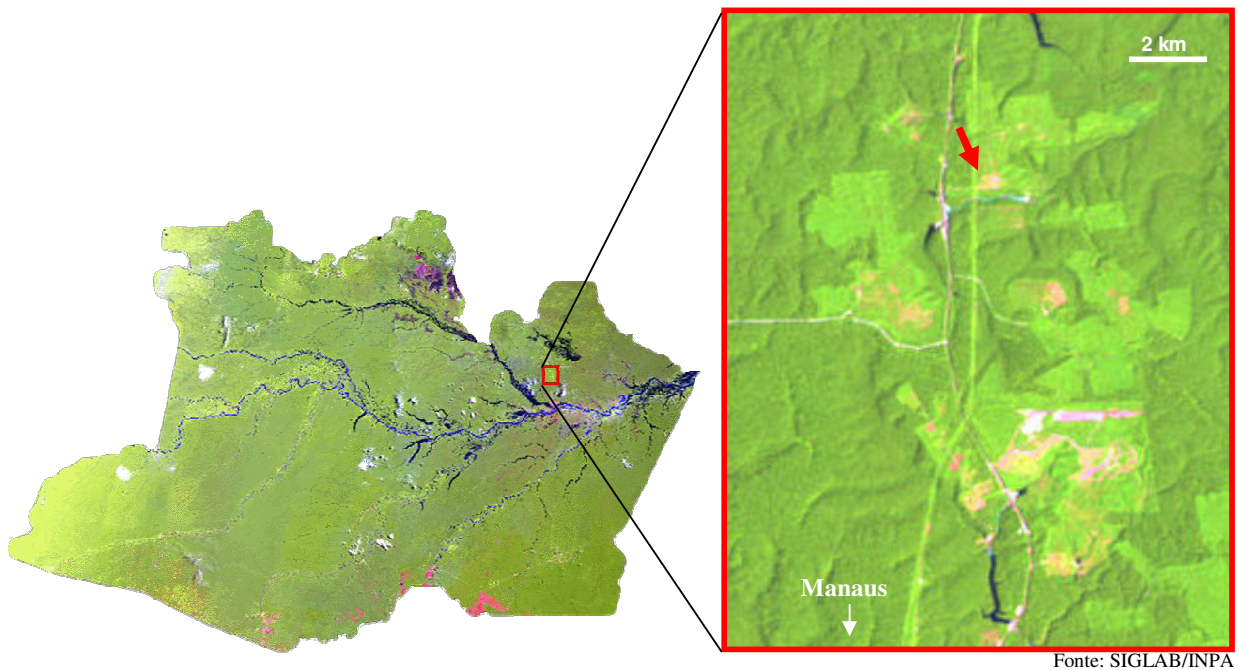


Figura 1: Localização da área de estudo (Estação Experimental da Embrapa, km 53 da BR-174, Município de Manaus-AM-Brasil).

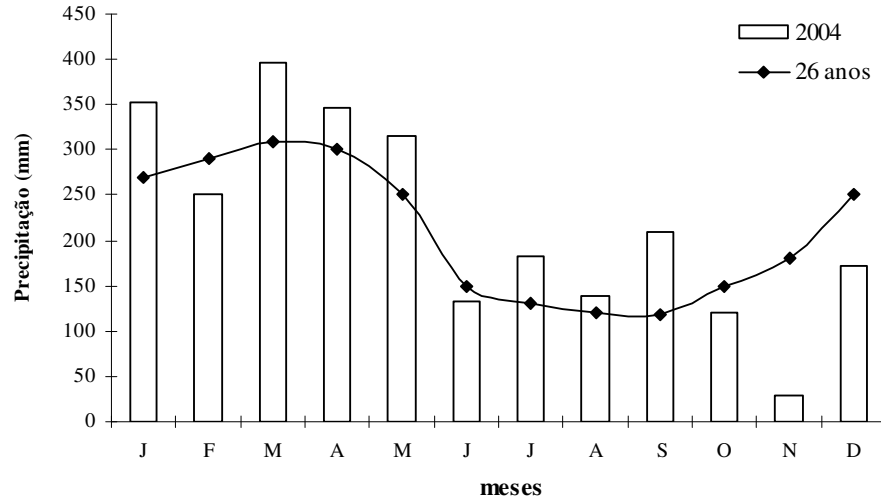


Figura 2: Médias mensais das precipitações pluviométricas durante 26 anos e valores mensais de 2004 (Dados obtidos na Estação Agrometeorológica da Embrapa-CPAA).

2.2. Histórico da área e implantação do experimento

A área utilizada corresponde a uma área de pastagem implantada no início dos anos 80 e submetida ao pastejo intensivo. Para a formação da pastagem foram realizados os cortes das árvores seguido da queima da vegetação no local e estabelecido o plantio de gramíneas como *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria humidicola*. Anualmente, era realizado o corte e a queima da vegetação emergente para incorporação de nutrientes. Porém, após repetidos processos de queima, a área exibiu sinais claros de degradação. Assim, a pastagem foi então abandonada, onde se desenvolveram espécies pioneiras dos gêneros *Vismia*, *Bellucia*, *Laetia*, *Goupia*, entre outras espécies, típicas de vegetação secundária sobre pastagens degradadas. Após 6 anos de abandono, a vegetação apresenta uma altura relativamente baixa, com indivíduos variando de 4–9 m de altura (Feldpausch *et al.*, 2004). O experimento foi implantado em janeiro de 2004, quando foi realizada a demarcação das parcelas (20 x 40 m), seleção das espécies e coleta de material vegetal para a identificação botânica. As espécies selecionadas para o estudo foram: a) *Vismia japurensis* - espécie arbórea vulgarmente conhecida como lacre vermelho, cuja principal característica é a presença de um látex alaranjado e de folhas com pilosidade ferrugínea; b) *Bellucia grossularioides* - também conhecida como goiaba-de-anta, é uma espécie arbórea apresentando folhas relativamente grandes e seus frutos comestíveis podem ser usados na fabricação artesanal de tintas; e c) *Laetia procera* - árvore de dossel, vulgarmente

conhecida como pau-jacaré, apresenta tronco circular de base reta ou com pequenas sapopemas. Sua madeira apresenta valor econômico onde é empregada em construções de pontes, pisos, revestimentos e carpintaria (Figura 3). Após a seleção das espécies, foram realizadas a calagem ($\text{CaCO}_3 - 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e aplicações de gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 2\text{H}_2\text{O} - 1 \text{ Mg ha}^{-1}$) e adubo fosfatado ($\text{P}_2\text{O}_5 - 50 \text{ kg ha}^{-1}$) nos tratamentos (Figura 4).

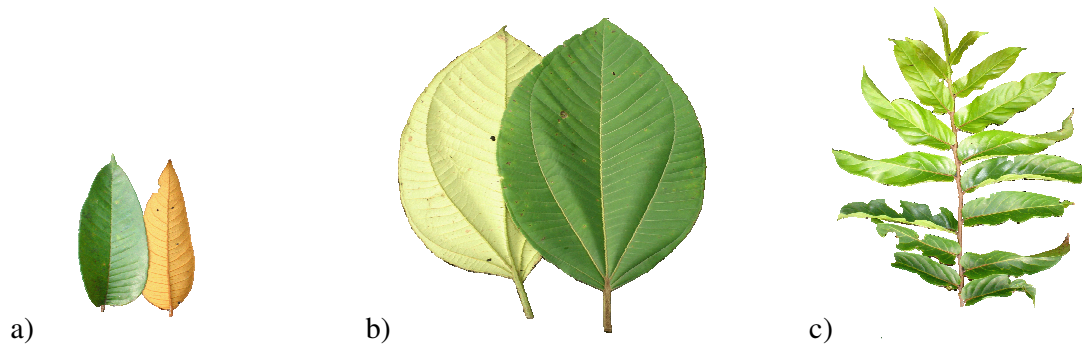


Figura 3: Folhas das espécies *Vismia japurensis* (a); *Bellucia grossularioides* (b); e *Laetia procera* (c) utilizadas nos estudos.

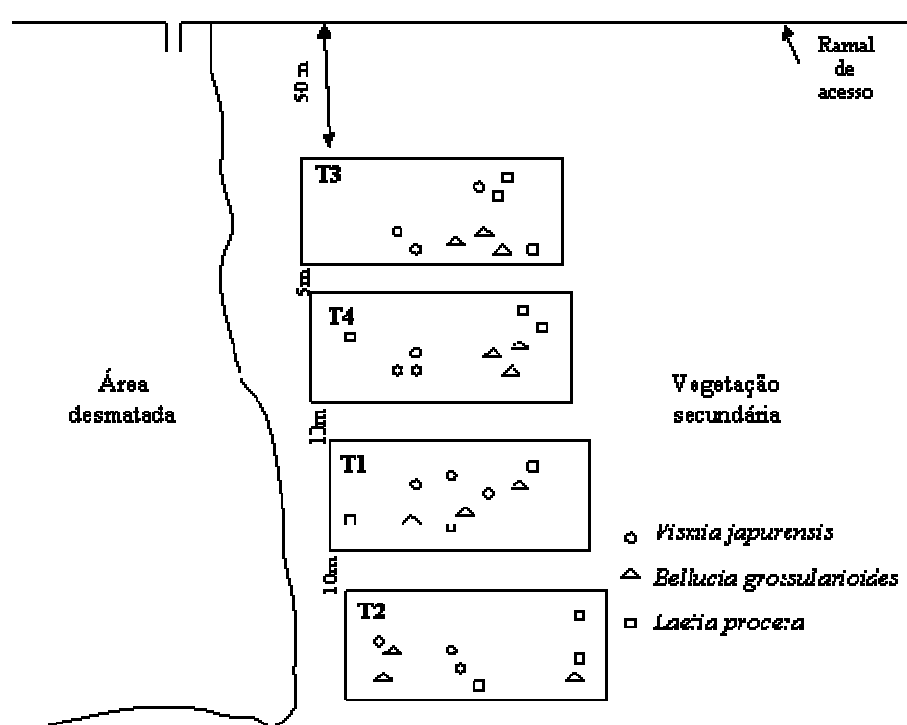


Figura 4: Croqui do experimento localizado na área experimental da Embrapa – Rodovia BR-174, km 53, Manaus-AM, mostrando a distribuição dos tratamentos controle (T1); aplicação de fósforo (T2); calagem e aplicação de fósforo (T3); e calagem, aplicação de gesso agrícola e de fósforo (T4).

2.3. Determinação da fertilidade do solo

Para a determinação da concentração dos nutrientes disponíveis e do potencial hidrogeniônico no solo, sob cobertura das diferentes espécies pioneiras após a calagem e adubação fosfatada, foram coletadas três amostras simples de solo por tratamentos nas seguintes profundidades: 0-15; 15-30; 30-45 e 100 cm. As amostras coletadas foram secas ao ar e, após secas e destorroadas, foram submetidas às análises químicas. Os valores do pH foram obtidos por medição eletroquímica da concentração efetiva de íons de H^+ na solução do solo por meio de eletrodo combinado imerso em solução solo:água. Os teores de N foram determinados no analisador C/N (Fisions NA 1500 NC). Os macronutrientes Ca, Mg e Al foram obtidos por extração com KCl 1 Mol L^{-1} e determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Perkin-Elmer 1100B). Os teores de P, K e micronutrientes (Fe, Zn e Mn) foram extraídos com solução de Mehlich 1 (HCl $0,05 \text{ Mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,0125 \text{ Mol L}^{-1}$), sendo que o P foi determinado por espectrofotometria (Jenway 6105 UV/VIS) e o K juntamente com os micronutrientes foram determinados por espectrometria de absorção atômica (Silva, 1999).

2.4. Determinação da concentração dos nutrientes foliares

Folhas das três espécies estudadas foram coletadas obedecendo aos seguintes critérios: a) situada no terço superior da planta; b) com plena exposição ao sol; c) completamente expandidas; e d) em bom estado fitossanitário. Após a coleta, as amostras foliares foram colocadas em sacos de papel e, no prazo máximo de 24 horas, foram levadas à estufa com ventilação forçada a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por um período de 72 horas. Em seguida, foram moídas e, deste material, 0,5 g de matéria seca foi submetida à pré-digestão durante uma noite e, posteriormente, a uma digestão nitro-perclórica (HNO_3 + $HClO_4$). O processo de digestão foi realizado a uma temperatura gradativa até $200 \text{ }^\circ\text{C}$, durante cerca de 4 horas, segundo a metodologia descrita por Miyazawa *et al.* (Silva, 1999). Após o processo de digestão, o extrato amostral foi submetido a diferentes determinações: o teor de P foi determinado por espectrofotometria (Jenway 6105 UV/VIS). Os macronutrientes (K, Ca e Mg) e os micronutrientes (Fe, Zn, Cu e Mn) foram determinados por espectrometria de absorção atômica (Perkin-Elmer 1100B). O N total foi determinado pelo método de

Kjeldahl, a partir de uma alíquota do extrato amostral obtido após digestão sulfúrica, conforme metodologia utilizada pela Embrapa (Silva, 1999).

2.5. Determinação da área foliar específica

Para a determinação da área foliar específica (AFE), foram coletadas amostras foliares completamente expandidas, com plena exposição ao sol e em bom estado fitossanitário. Foram retirados discos foliares (área = 0,2827 cm²) e submetidos à estufa (70° C) por um prazo de 72 horas (Pooter & Jong, 1999). A área foliar específica foi determinada como a razão da área foliar pela massa foliar seca. Foram utilizados dez discos foliares por indivíduo (Witkowski & Lamont, 1991).

2.6. Determinação do potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar (Ψ_w) foi determinado no campo no período da antemanhã (Ψ_{am}) entre 5:00 e 6:00 h, e ao meio-dia (Ψ_{md}) entre 12:00 e 13:00 h, utilizando a bomba de pressão (Scholander *et al.*, 1965). A determinação consistiu na coleta de amostra foliar completamente expandida e em bom estado fitossanitário, a qual foi colocada na bomba de pressão tipo Scholander, onde foi aplicada uma pressão até ocorrer a exsudação pelo corte feito no pecíolo da folha, neste momento era feita a leitura da pressão aplicada (Turner, 1981).

2.7. Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 3 x 2, sendo composto dos seguintes fatores: quatro tratamentos (1- controle; 2- aplicação de fosfato; 3- calagem e aplicação de fosfato; e 4- calagem, aplicação de gesso agrícola e de fosfato); três espécies (*Vismia japurensis*, *Bellucia grossularioides* e *Laetia procera*); e dois períodos sazonais (chuvoso e seco).

Para a análise estatística dos dados obtidos foram feitas análises de variância (ANOVA) em esquema fatorial, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Os programas estatísticos utilizados para a realização das análises foram o SAEG (8.X, UFV-MG) e o JMP (4.0, SAS Institute Inc., Cary, NC).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características químicas e fertilidade dos solos

O pH em H₂O para a profundidade de 0-15 cm foi 14 e 11% mais elevado nos tratamentos P+Cal e P+Cal+G, respectivamente, quando comparados com o tratamento controle (Figura 5). Na profundidade de 15-30 cm, somente os tratamentos P+Cal e P+Cal+G apresentaram aumento nos valor do pH, do que o tratamento controle (5 e 7%, respectivamente). O aumento no valor do pH promove uma diminuição na concentração Al no solo, contudo, somente nas profundidades de 0-15 cm para o tratamento P+Cal e 15-30 cm para o tratamento P+Cal+G foram observadas reduções na concentração desse elemento da ordem de 40 e 20%, respectivamente.

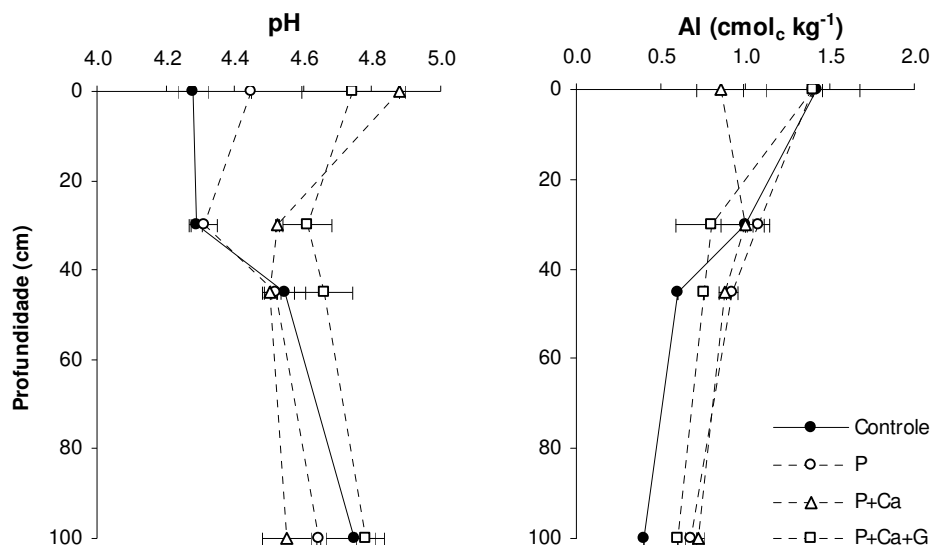


Figura 5: Potencial hidrogeniônico (pH) e teores de Al nas diferentes profundidades dos solos nos tratamentos P, P+Cal e P+Cal+G em relação ao tratamento controle. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=3).

Segundo Dynia & Camargo (1998), tanto a adição de fosfato quanto a combinação da calagem com o fósforo ocasionam aumento na carga elétrica líquida e no pH original do solo, o que pode explicar o aumento do pH na camada superficial dos tratamentos com calagem e adubação fosfatada. Isso ocorre porque a calagem diminui o grau de floculação da argila e esta redução está relacionada com o aumento da espessura da dupla camada

elétrica difusa dos colóides, atribuído à criação de cargas negativas, que induzem a substituição do Al^{3+} pelo Ca^{2+} e Mg^{2+} no complexo de troca, contribuindo para a formação de precipitado $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Albuquerque *et al.*, 2003). Observou-se, ainda, que a camada superficial do tratamento P+Cal+G (0-15 cm) não mostrou uma redução na concentração de Al quando comparado com a camada subsuperficial do mesmo tratamento (15-30 cm). Provavelmente, isto corresponde a um efeito da aplicação de gesso, uma vez que, após dissolução, o gesso se mobiliza rapidamente e se fixa nas camadas inferiores do solo, além disso, sua movimentação é acompanhada de cátions, como o cálcio e magnésio, da aplicação do calcário (Ernani *et al.*, 2001). Portanto, como era esperado, observou-se claramente o efeito da aplicação dos tratamentos na correção da acidez do solo para a profundidade de 0-15 cm no tratamento P+Cal e para a profundidade de 15-30 cm no tratamento P+Cal+G. Porém, espera-se que essa diferença no valor do pH e na concentração de Al nas profundidades desses tratamentos aumente ainda mais com o tempo, uma vez que, a diferença entre a aplicação dos tratamentos e a realização da coleta correspondeu a apenas sete meses.

Houve uma diminuição na concentração de C e de N em função da profundidade para todos os tratamentos e os teores de C variaram de 6,6 até 28,4 g kg^{-1} e de 0,5 até 1,7 g kg^{-1} para o N (Figura 6). Os teores de C foram altos no tratamento P+Cal+G para a profundidade de 0-15 cm (28,4 g kg^{-1}), porém não diferiu dos demais tratamentos. Na profundidade de 15-30 do tratamento P+Cal+G, também foi observado altos valores de C (18,0 g kg^{-1}), sendo 28% superior ao teor de C observado no tratamento controle (14,0 g kg^{-1}). Já nas profundidades de 30-45 e 100 cm do tratamento P, foram observados elevados teores de C (13,2 e 8,1 g kg^{-1} , respectivamente), sendo 62 e 18 % superiores aos valores encontrados no tratamento controle nas respectivas profundidades. Os teores de N não apresentaram uma grande variação na profundidade de 0-15 cm, exceto para o tratamento com adição de P, que foi 10 % mais baixos quando comparado com o tratamento controle. No entanto, para a profundidade de 15-30 cm dos tratamentos P e P+Cal+G, os teores de N foram 15 e 26% mais altos em relação ao tratamento controle. Na profundidade de 30-45 cm, os altos teores de N foram observados para os tratamentos P e P+Cal, sendo 45 e 26% superiores ao tratamento controle.

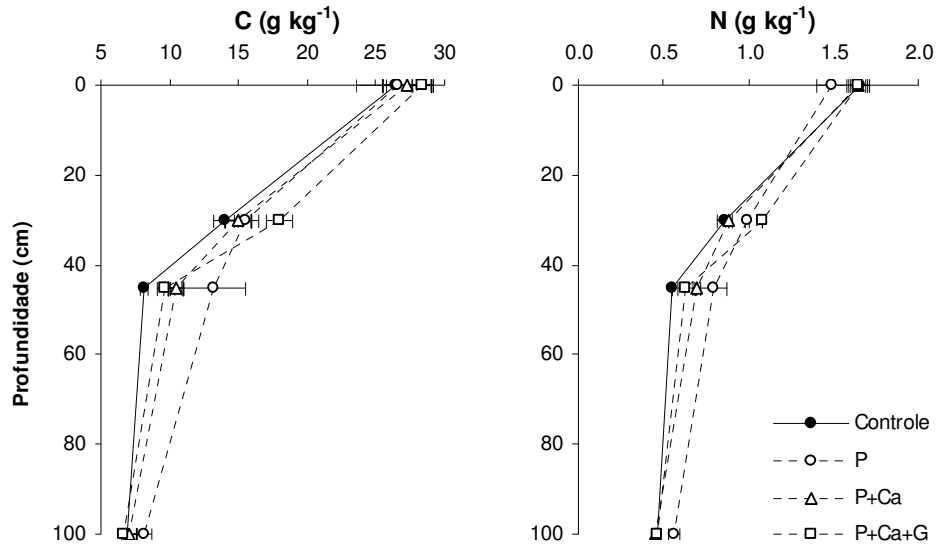


Figura 6: Teores de C e de N nas diferentes profundidades dos solos nos tratamentos P, P+Cal e P+Cal+G em relação ao tratamento controle. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=3).

Embora a calagem seja importante para aumentar a eficiência na disponibilização do N do solo quando o pH é corrigido, pelo fato da correção da acidez estar associada a aumento na disponibilidade de N para as plantas, em função das maiores quantidades de N mineralizadas nos solos (Silva *et al.*, 1994; Rosolem *et al.*, 2003), observou-se que nas camadas superficiais das áreas onde foram aplicados os tratamentos (P, P+Cal e P+Cal+G), tanto os teores de C quanto de N não mostraram um aumento importante quando comparados com a área sem tratamento (controle). Provavelmente, pode ter ocorrido uma descida dos íons de nitrato, favorecidos pela calagem, para as camadas subsuperficiais do solo. Essa afirmação pode ser comprovada, uma vez que houve um aumento na concentração desses elementos nas profundidades de 15-30 e de 30-45 cm. Alguns autores têm demonstrado que menores taxas de mineralização de N têm sido associadas à baixa atividade dos organismos mineralizadores nos solos com deficiência de P (Haynes, 1986; Falkiner *et al.* 1993; Gehring *et al.*, 1999; Silva *et al.*, 1999). No entanto, os três tratamentos que receberam aplicação de adubo fosfatado não diferiram do tratamento controle para a profundidade de 0-15 cm. Provavelmente, pode ter ocorrido a contribuição do N orgânico, liberado pela atividade microbiótica, para a nutrição da planta, o que dá suporte a hipótese de que, nesta situação, o nitrato gerado pela elevação do pH pode ter sido absorvido pelas plantas, o que, em parte, pode ser constatado pela maior concentração

do N nas folhas de duas das três espécies (*B. grossularioides* e *L. procer*) situadas nas áreas que sofreram calagem e aplicação de fosfato (Tabela 1).

Elevados teores de fósforo foram observados na camada de 0-15 cm dos tratamentos que receberam adubação fosfatada com 5,4; 6,5 e 6,6 mg kg⁻¹ para os tratamentos P, P+Cal e P+Cal+G, respectivamente, em relação ao tratamento controle que exibiu teores de 1,7 mg kg⁻¹ (Figura 7). Na profundidade de 15-30 cm, foram observados altos valores nos tratamentos P (5,8 mg kg⁻¹), seguido do tratamento P+Cal+G (4,1 mg kg⁻¹). Nas profundidades de 30-45 e 100 cm, o tratamento P apresentou os altos valores (1,0 e 0,6 mg kg⁻¹, respectivamente) seguidos dos tratamentos P+Cal, P+Cal+G e controle. A concentração de K nos diferentes tratamentos não apresentou grande variação para a profundidade de 0-15 cm (Figura 7). Porém, na profundidade de 15-30 cm, o tratamento P+Cal+G (44,0 mg kg⁻¹) apresentou os maiores teores de K, seguido dos tratamentos P (32,0 mg kg⁻¹) e P+Cal (26,5 mg kg⁻¹), sendo 87% superior ao teor encontrado no tratamento controle (23,5 mg kg⁻¹). Já para a profundidade de 30-45 e 100 cm, os teores de K não apresentaram grande variação entre os tratamentos.

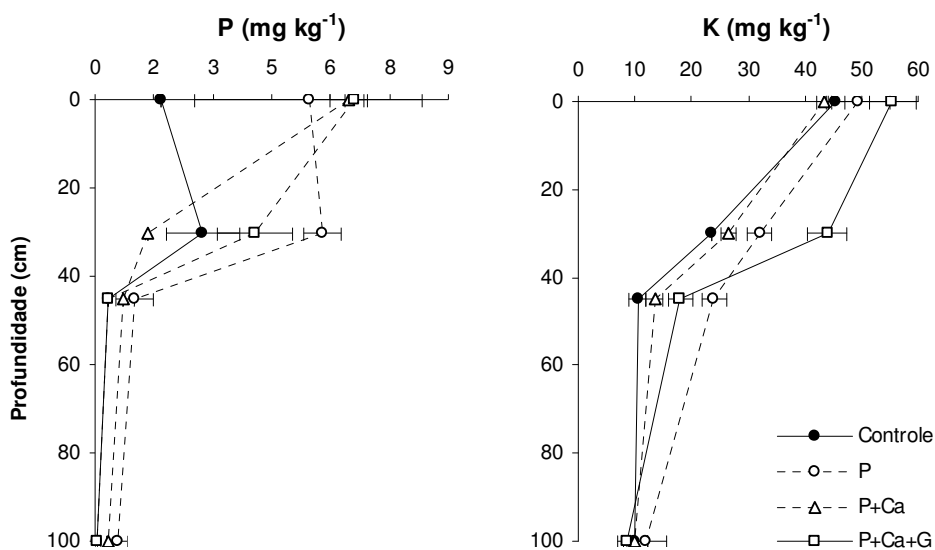


Figura 7: Teores de P e de K nas diferentes profundidades dos solos nos tratamentos P, P+Cal e P+Cal+G em relação ao tratamento controle. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=3).

Os teores de fósforo encontrados na camada superficial dos tratamentos que sofreram calagem foram elevados pelo fato da correção da acidez do solo contribuir para aumentar a disponibilidade do fósforo no solo e, também, aumentar a eficiência dos

fertilizantes fosfatados aplicados (Carvalho & Raij, 1997; Lopes *et al.*, 2002). Adicionalmente, verificou-se que o tratamento P+Cal+G, para a profundidade de 15-30 cm, apresentou altos teores de fósforo quando comparado com os tratamentos controle e P+Cal. Esse resultado pode ser consequência da melhoria do ambiente edáfico, em decorrência da aplicação de gesso que, em geral, favorece a descida de cátions (Ca^{2+} e Mg^{2+}) no perfil do solo, atuando sobre formas trocáveis de Al^{3+} , que, por sua vez, são precipitados como hidróxidos, aumentando a disponibilidade de fósforo nestes sítios (Caires *et al.*, 2004). Portanto, observa-se claramente a influência do efeito correção da acidez e da aplicação de gesso e de fosfato no aumento da disponibilidade de fósforo nos três tratamentos. Conforme observado por Wadt & Wadt (1999), a aplicação de fontes de cálcio (CaCO_3) não alterou significativamente o teor de K na camada superficial em experimento com solos de pastagens, apesar de aumentar o teor de Ca, o que foi observado, também, nesse estudo. Porém, na profundidade de 15-30 cm do tratamento P+Cal+G, a maior concentração de K observada pode estar relacionada com a lixiviação desse elemento para as camadas subjacentes, favorecidas pela aplicação de gesso.

Tanto no tratamento P+Cal quanto no tratamento P+Cal+G, foram observados elevados teores de Ca e Mg em todas as profundidades, quando comparados com os tratamentos controle e P (Figura 8). Porém, comparando somente os tratamentos que receberam calagem e aplicação de gesso, foram observados elevados teores de Ca e de Mg na camada de 0-15 cm do tratamento P+Cal (1,16 e 0,71 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente) em relação ao tratamento P+Cal+G (0,61 e 0,22 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Contudo, observaram-se altos teores de Ca nas profundidades de 15-30 e de 30-45 cm no tratamento P+Cal+G (0,16 e 0,09 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente) quando comparadas as mesmas profundidades no tratamento P+Cal (0,11 e 0,11 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente).

Normalmente, os efeitos da calagem restringem-se às zonas de aplicação, porque a neutralização da acidez do subsolo é dificultada pelo aumento da retenção de cátions decorrente da geração de cargas elétricas variáveis negativas, com a elevação do pH do solo (Pottker & Ben, 1998). Além disso, os ânions resultantes de sua dissolução, são também consumidos nas reações com outros cátions ácidos, na camada de deposição do calcário (Oliveira Jr. *et al.*, 2000; Albuquerque *et al.*, 2003). Sendo assim, os altos valores de cátions observados na profundidade de 15-30 e 30-45 cm do tratamento P+Cal+G, que incluiu a aplicação de calcário e gesso, pode ter sido reflexo da taxa de movimentação do Ca e do Mg no perfil do solo que, de certo modo, é fortemente influenciado pela existência de outros ânions na solução do solo, como por exemplo, os sulfatos (Ernani & Barber,

1993). Caires *et al.* (1999) observaram que a calagem na superfície apresentou maior eficiência na correção da acidez do solo, enquanto que o calcário incorporado ao solo proporcionou maior reação em outras profundidades.

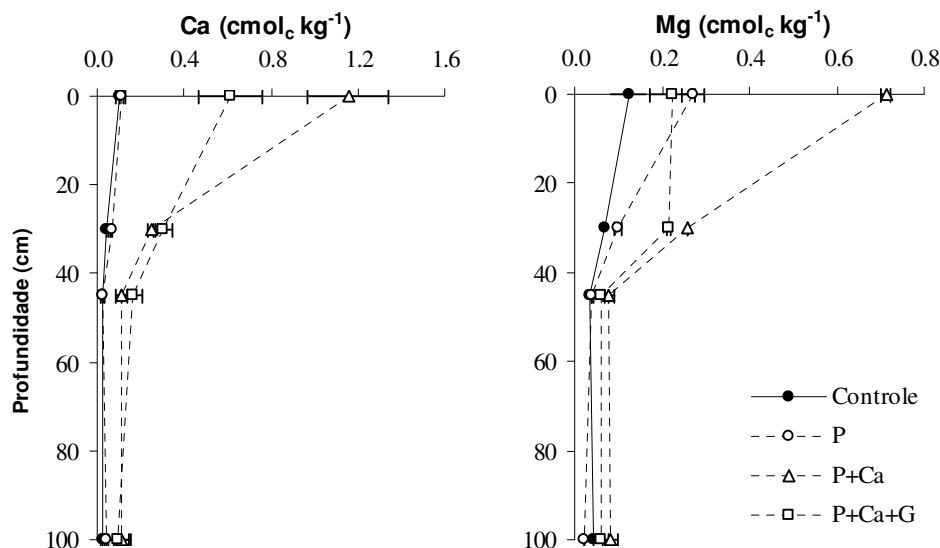


Figura 8: Teores de Ca e de Mg nas diferentes profundidades dos solos nos tratamentos P, P+Cal e P+Cal+G em relação ao tratamento controle. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=3).

Os teores de Fe nas profundidades de 0-15 cm foram mais altos no tratamento P+Cal, seguido dos tratamentos P, controle e P+Cal+G com 472, 389, 353 e 349 mg kg⁻¹. (Figura 9). Contudo, na profundidade de 15-30 cm, observou-se elevada concentração desse nutriente nos tratamentos P, P+Cal e P+Cal+G, sendo 58 e 54% superiores aos teores encontrados no tratamento controle (284 mg kg⁻¹). Na profundidade de 30-45 cm os altos teores de Fe foram observados no tratamento P (347 mg kg⁻¹) enquanto que, na profundidade de 100 cm, os teores desse nutriente não apresentaram grande variação. Para o nutriente Mn, na profundidade de 0-15 cm, foram observados os mais altos teores no tratamento P (4,7 mg kg⁻¹) sendo 54% superior ao menor teor observado no tratamento P+Cal (3,1 mg kg⁻¹). Adicionalmente, nas profundidades de 15-30, 30-45 e 100 cm, os mais altos teores de Mn foram observados no tratamento P, seguido dos tratamentos controle, P+Cal+G e P+Cal. Na camada de 0-15 cm, os maiores e menores teores de Zn foram observados nos tratamentos controle e P com 2,1 mg kg⁻¹ e 1,0 mg kg⁻¹, respectivamente. Já na profundidade de 15-30 cm, os mais altos valores foram observados no tratamento P+Cal (1,0 mg kg⁻¹), sendo 100% superior ao menor teor observado para o

tratamento P ($0,5 \text{ mg kg}^{-1}$). Na profundidade de 30-45 cm, elevados teores desse nutriente também foram observados no tratamento P ($0,2 \text{ mg kg}^{-1}$). Na profundidade de 100 cm, os mais altos teores foram observados no tratamento P+Cal+G ($1,0 \text{ mg kg}^{-1}$), seguido dos tratamentos P ($0,8 \text{ mg kg}^{-1}$), controle ($0,5 \text{ mg kg}^{-1}$) e P+Cal ($0,2 \text{ mg kg}^{-1}$).

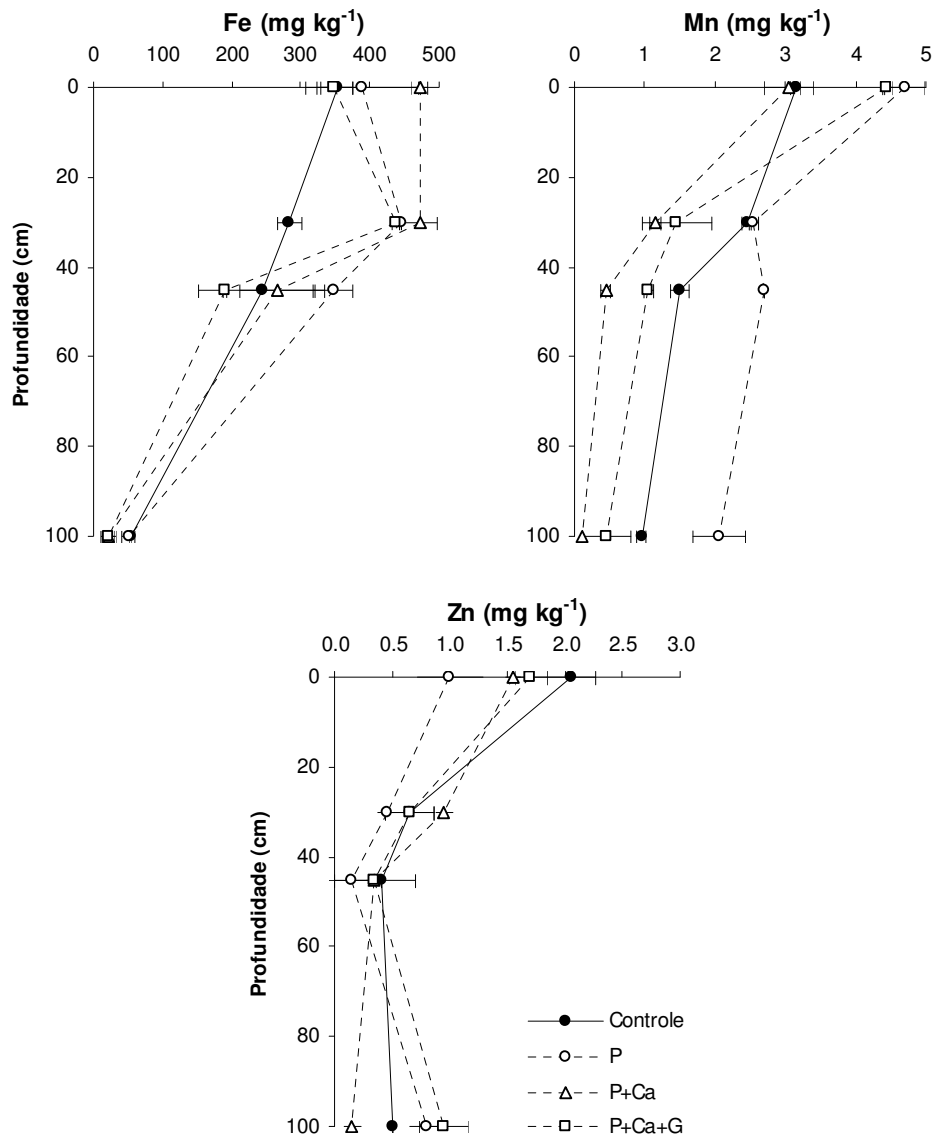


Figura 9: Teores de Fe, Mn e de Zn nas diferentes profundidades dos solos nos tratamentos P, P+Cal e P+Cal+G em relação ao tratamento controle. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=3).

Alguns autores indicam o efeito benéfico da calagem na redução da concentração de micronutrientes como o Fe, Mn e Zn em solos ácidos, pois, normalmente, esses

elementos são considerados tóxicos às plantas quando associados ao baixo pH (Andreotti *et al.*, 2001; Sarmiento *et al.*, 2001; Lopes *et al.*, 2002; Nunes *et al.*, 2004). Contudo, observou-se que nos tratamentos onde foi feita a calagem (P+Cal e P+Cal+G), os teores de Fe e Mn apresentaram comportamento oposto na zona de aplicação do calcário, quando comparados com o tratamento controle, isto é, os teores de Fe, por exemplo, aumentaram na camada superficial do tratamento P+Cal e na camada subsuperficial do tratamento P+Cal+G. Para o Mn, verificou-se que houve aumento da concentração deste elemento na camada superficial do tratamento P+Cal+G. Contudo, na camada de aplicação do corretivo do tratamento P+Cal, não se observou uma redução tão expressiva no teor de Mn, apesar do pH nessa região ter alcançado o valor de 4,9 passados 8 meses desde aplicação do corretivo. Segundo Tanaka *et al.* (1992) a maior mudança na disponibilidade de Mn ocorre em valores de pH entre 4,0 e 6,0; no entanto, para essa profundidade, essa mudança ainda não foi detectada da mesma forma que Abreu *et al.* (1994) não detectaram a diminuição na disponibilidade de Mn causado pela calagem. Estudos com Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, demonstraram que a maior reação do calcário aplicado superficialmente ocorreu 35 meses após a calagem (Caires *et al.*, 2004). Entre os micronutrientes, o único elemento que apresentou redução na concentração foi o Zn, observado na camada superficial dos tratamentos P, P+Cal e P+Cal+G em relação ao tratamento controle, o que, de certa forma, concorda com valores observado por alguns autores (Andreotti *et al.*, 2001; Roque *et al.*, 2004). A redução na concentração desse elemento pode estar relacionada com a aplicação de adubo fosfatado (Biasioli, 2003).

3.2. Estado nutricional das plantas

Teores de macronutrientes

Os teores foliares de N das espécies *V. jaturensis* e *B. grossularioides* não apresentaram diferenças entre os tratamentos (controle, P, P+Cal e P+Cal+G), tanto no período chuvoso quanto no período seco (Tabela 1). Contudo, verificou-se que para a *L. procera*, os maiores valores foram observados no tratamento com P (14,5 g kg⁻¹) comparado com o tratamento P+Cal (12,9 g kg⁻¹) no período chuvoso.

Tabela 1: Teores foliares dos macronutrientes de três espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez e adubação fosfatada.

Período	Tratamento	<i>V. japurensis</i>	<i>B. grossularioides</i>	<i>L. procera</i>
N (g kg⁻¹)				
Chuvoso	controle	A 10,8 ± 2,80 Aa	A 15,8 ± 2,40 Aa	A 13,9 ± 2,55 Ab
	P	A 10,8 ± 1,75 Aa	A 15,9 ± 1,93 Aa	A 14,5 ± 2,46 Aa
	P+Cal	B 12,3 ± 0,80 Aa	A 15,4 ± 1,51 Aa	B 12,9 ± 0,67 Bb
	P+Cal+G	B 10,9 ± 0,50 Aa	A 17,1 ± 0,95 Aa	B 13,2 ± 1,18 Bb
Seco	controle	B 10,0 ± 0,73 Aa	A 20,4 ± 2,94 Aa	A 17,5 ± 1,48 Aa
	P	B 10,8 ± 0,82 Aa	A 17,5 ± 1,28 Aa	A 17,6 ± 1,28 Aa
	P+Cal	C 10,4 ± 1,31 Aa	A 20,2 ± 0,56 Aa	B 16,8 ± 0,47 Aa
	P+Cal+G	B 10,7 ± 0,32 Aa	A 19,4 ± 2,67 Aa	A 19,4 ± 2,17 Aa
P (g kg⁻¹)				
Chuvoso	controle	A 0,7 ± 0,07 Aa	A 1,0 ± 0,22 Aa	A 1,0 ± 0,05 Aa
	P	A 0,8 ± 0,09 Aa	A 1,0 ± 0,31 Aa	A 0,9 ± 0,13 Aa
	P+Cal	A 1,1 ± 0,30 Aa	A 1,6 ± 0,15 Aa	A 1,2 ± 0,47 Aa
	P+Cal+G	B 0,8 ± 0,07 Aa	A 1,6 ± 0,37 Aa	AB 1,1 ± 0,18 Aa
Seco	controle	B 0,4 ± 0,04 Ba	AB 0,5 ± 0,13 Bb	A 0,7 ± 0,16 Aa
	P	A 0,7 ± 0,14 Aa	A 1,1 ± 0,49 Aab	A 0,9 ± 0,36 Aa
	P+Cal	B 0,5 ± 0,16 Ba	A 1,3 ± 0,21 Aa	B 0,7 ± 0,09 Aa
	P+Cal+G	A 0,6 ± 0,07 Ba	A 1,1 ± 0,25 Aab	A 0,9 ± 0,32 Aa
K (g kg⁻¹)				
Chuvoso	controle	A 2,4 ± 0,77 Ab	A 4,6 ± 1,86 Aab	A 5,0 ± 2,22 Aa
	P	A 2,2 ± 0,28 Ab	A 3,0 ± 0,59 Ab	A 3,5 ± 2,50 Aa
	P+Cal	A 5,3 ± 0,36 Aa	A 6,9 ± 2,09 Aa	A 7,2 ± 2,28 Aa
	P+Cal+G	A 4,2 ± 1,01 Aa	A 6,8 ± 0,82 Aa	A 4,9 ± 1,40 Aa
Seco	controle	A 1,9 ± 1,27 Aa	A 1,7 ± 0,43 Ba	A 2,3 ± 0,97 Aa
	P	A 0,9 ± 0,27 Ba	A 1,4 ± 0,99 Aa	A 2,8 ± 2,70 Aa
	P+Cal	A 0,5 ± 0,11 Ba	A 1,3 ± 0,62 Ba	A 1,6 ± 0,40 Ba
	P+Cal+G	A 0,9 ± 0,57 Ba	A 2,7 ± 0,25 Ba	A 0,9 ± 0,06 Ba
Ca (g kg⁻¹)				
Chuvoso	controle	A 2,8 ± 0,56 Ab	A 2,2 ± 0,90 Aa	A 4,4 ± 1,25 Aa
	P	B 4,1 ± 0,69 Ab	B 3,1 ± 0,22 Aa	A 7,1 ± 1,44 Aa
	P+Cal	B 3,6 ± 0,68 Ab	B 3,7 ± 0,78 Aa	A 8,9 ± 2,82 Aa
	P+Cal+G	A 7,2 ± 0,87 Aa	B 2,7 ± 0,58 Aa	A 7,7 ± 2,23 Aa
Seco	controle	B 1,6 ± 0,28 Bb	B 1,5 ± 0,52 Aa	A 3,1 ± 0,64 Aab
	P	A 2,1 ± 0,09 Bab	A 1,6 ± 0,17 Ba	A 2,5 ± 0,73 Bb
	P+Cal	B 1,7 ± 0,19 Bab	B 1,9 ± 0,76 Ba	A 4,7 ± 1,23 Aa
	P+Cal+G	B 2,2 ± 0,31 Ba	B 1,9 ± 0,40 Aa	A 4,7 ± 0,46 Aa
Mg (g kg⁻¹)				
Chuvoso	controle	A 1,9 ± 0,40 Ab	A 1,8 ± 0,41 Ab	A 2,0 ± 0,09 Aa
	P	A 1,4 ± 0,27 Ab	A 2,3 ± 0,25 Aab	A 1,9 ± 0,80 Aa
	P+Cal	B 1,4 ± 0,38 Ab	A 3,0 ± 0,42 Aa	A 2,4 ± 0,25 Aa
	P+Cal+G	A 2,8 ± 0,55 Aa	A 2,1 ± 0,36 Aab	A 1,9 ± 0,85 Aa
Seco	controle	A 0,8 ± 0,02 Ba	A 0,9 ± 0,18 Ba	A 1,2 ± 0,35 Aab
	P	B 0,6 ± 0,14 Ba	A 1,0 ± 0,06 Ba	AB 0,8 ± 0,14 Ab
	P+Cal	B 0,7 ± 0,17 Ba	A 1,3 ± 0,26 Ba	A 1,7 ± 0,21 Ba
	P+Cal+G	B 0,9 ± 0,09 Ba	A 1,3 ± 0,21 Ba	A 1,4 ± 0,19 Aab

Os valores são médias ± desvios padrão. Médias seguidas da mesma letra maiúscula (esquerda) na horizontal, para as espécies, e da mesma letra maiúscula e minúscula (direita) na vertical, para período e tratamento, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% (n=3).

Analisando-se, individualmente, cada tratamento, observou-se que os maiores teores foliares de N, dentre as espécies estudadas, foram encontrados na *B. grossularioides*

nos tratamentos P+Cal e P+Cal+G, tanto no período chuvoso quanto no período seco, seguido da *L. procera* e *V. japurensis*. Na comparação entre os períodos distintos de precipitação (chuvoso e seco), somente a *L. procera* apresentou diferença nos teores de N, tanto no tratamento P+Cal (12,9 e 16,8 g kg⁻¹ para os períodos chuvoso e seco, respectivamente) quanto no tratamento P+Cal+G (13,8 e 19,4 g kg⁻¹ para os períodos chuvoso e seco, respectivamente).

De posse dessas informações, tudo leva a crer que *B. grossularioides* é uma espécie muito exigente em N, pois, apesar de não haver diferença entre os tratamentos, foi a que apresentou os mais altos teores médios desse macronutriente. Até mesmo os valores encontrados no tratamento controle para *B. grossularioides* (sem aplicação de corretivos da acidez e adubo fosfatado) foram superiores aos observados para *L. procera* e para *V. japurensis* nos tratamentos com aplicação de calcário e adubo fosfatado, tanto no período chuvoso quanto no período seco. Reich *et al.* (1999) estudando a relação da taxa de respiração em função dos teores de N, área foliar específica e capacidade fotossintética de grupos de plantas de diferentes biomas, também encontrou maiores teores foliares de N na *B. grossularioides* comparado com *V. japurensis*. Por outro lado, o efeito da calagem em aumentar as quantidades de N mineralizado tem sido associado a uma elevação nos valores de pH e nos teores de cátions trocáveis, e à diminuição do Al tóxico, fatores esses que aumentam a atividade de organismos mineralizadores (Silva *et al.*, 1994; Poggiani & Schumacher, 2004). Portanto, os maiores teores foliares de N observados para *B. grossularioides*, podem estar associados a maior atividade microbiana nos solos dos tratamentos que receberam aplicação de calcário (P+Cal e P+Cal+G) somada a maior exigência desse nutriente por essa espécie. O aumento nos teores foliares de N no período seco comparado com o período chuvoso para a espécie *L. procera* pode estar relacionado a menor perda desse elemento no solo, uma vez que o nitrato, como forma mineral de N predominante nos solos, normalmente é muito móvel no perfil do solo, com isso, há um acompanhamento desse íon nesse fluxo para as camadas mais profundas em períodos de muita precipitação (Muzilli, 1983; Errebhi *et al.*, 1998).

Para o nutriente P, na análise da interação entre os tratamentos, somente *B. grossularioides*, no período seco, apresentou maiores teores de fósforo no tratamento P+Cal (1,3 g kg⁻¹) em relação ao tratamento controle (0,5 g kg⁻¹) (Tabela 1). Analisando-se, individualmente, cada tratamento, observou-se que os maiores teores foliares de P, dentre as espécies estudadas, foram observados para *B. grossularioides* (1,6 g kg⁻¹) e para *L. procera* (1,1 g kg⁻¹) em relação a *V. japurensis* (0,8 g kg⁻¹) no tratamento P+Cal+G no

período de maior precipitação (chuvoso). Já no período seco, os maiores teores de P foram observados para *B. grossularioides* ($1,3 \text{ g kg}^{-1}$) em relação a *V. japurensis* e *L. procera* ($0,5$ e $0,7 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente) no tratamento P+Cal. No tratamento controle, *L. procera* ($0,7 \text{ g kg}^{-1}$) apresentou valores superiores em relação a *V. japurensis* e *B. grossularioides* ($0,4$ e $0,5 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente). Comparando-se os teores foliares de P entre períodos distintos de precipitação, observou-se que *V. japurensis* apresentou maiores teores no período chuvoso em relação ao período seco para os tratamentos P+Cal, P+Cal+G e para o tratamento controle. Adicionalmente, verificou-se que, na *B. grossularioides*, somente no tratamento controle, os teores de P foram superiores no período chuvoso ($1,0 \text{ g kg}^{-1}$) em relação ao período seco ($0,5 \text{ g kg}^{-1}$).

Apesar de terem sido observados maiores teores de P na camada superficial do solo dos tratamentos P e P+Cal, e na camada subsuperficial do tratamento P+Cal+G, em função da calagem e da aplicação de adubo fosfatado, observou-se reduzido aumento nos teores foliares desse nutriente nas espécies estudadas quando comparados com o tratamento controle. Como essas espécies são típicas de vegetação secundária e apresentam rápido crescimento sobre áreas de pastagens degradadas, onde o P é um elemento limitante, tanto *V. japurensis* quanto *L. procera*, parecem ser pouco exigentes por esse nutriente, apesar da maior oferta proporcionada pela aplicação fosfatada. Contudo, dentre as espécies estudadas, *B. grossularioides* se mostrou mais exigente na utilização desse nutriente, uma vez que, essa espécie apresentou maiores teores foliares nos tratamentos com adubação fosfatada, no período seco, quando comparado com o tratamento controle. Além disso, *V. japurensis* parece ser mais eficiente na utilização de nutrientes poucos disponíveis como é o caso do P, o que talvez explique o fato de *V. japurensis* ser a espécie dominante sobre essas áreas de pastagens degradadas conforme indicado pela sua maior frequência nessas áreas (Mesquita *et al.*, 2001; Feldpausch, 2004). De maneira geral, os teores de P no solo reduziram no período seco para algumas espécies nos diferentes tratamentos. Esse efeito pode ser explicado pela maior atividade biológica no solo no período de maior precipitação, contribuindo para uma maior oferta desses nutrientes para as espécies (Carneiro *et al.*, 2004).

Os teores foliares de K em *V. japurensis* foram maiores nos tratamentos P+Cal ($5,3 \text{ g kg}^{-1}$) e P+Cal+G ($4,2 \text{ g kg}^{-1}$) em relação aos tratamentos controle e P, no período chuvoso ($2,5$ e $2,2 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente) (Tabela 1). Para *B. grossularioides*, verificou-se que os tratamentos P+Cal ($6,9 \text{ g kg}^{-1}$) e P+Cal+G ($6,8 \text{ g kg}^{-1}$) apresentaram maiores teores de K comparados com o tratamento P ($3,0 \text{ g kg}^{-1}$) também no período chuvoso. Não

houve diferença nos teores de K entre os tratamentos para nenhuma espécie no período de menor precipitação, bem como, entre as espécies estudadas, analisando-se cada tratamento isolado. Comparando-se os teores foliares de K das espécies entre os períodos distintos de precipitação, observou-se que as três espécies estudadas apresentaram maiores teores no período chuvoso, para os tratamentos P+Cal e P+Cal+G. Além do mais, verificou-se que, tanto *V. japurensis* no tratamento P quanto *B. grossularioides* no tratamento controle também apresentaram diferenças entre os diferentes períodos sazonais (chuvoso e seco).

Esses maiores teores de K para as espécies *V. japurensis* e *B. grossularioides* nos tratamentos com correção da acidez, contradizem, em parte, o que muitos autores dizem sobre o efeito da calagem na concentração de K nos solos e, conseqüentemente, nas folhas. Para muitos autores, o excesso de Ca, e em menor escala de Mg, determinam a menor absorção de K, provavelmente, por inibição competitiva (Patel *et al.*, 1993; Fonseca & Meurer, 1997). Contudo, os maiores teores foliares de K observados para essas duas espécies nos tratamentos P+Cal e P+Cal+G, são reflexos dos maiores teores de K observados nos solos dos sítios estudados. Apesar da análise dos solos mostrar uma considerável concentração de Ca e Mg nas camadas superficiais dos tratamentos P e P+Cal+G e uma menor concentração de K na camada superficial do tratamento P+Cal notou-se que, nas camadas de 15-30 cm dos tratamentos P+Cal e P+Cal+G, ocorreu aumento na concentração de K, o que pode ter refletido numa maior concentração foliar desse elemento. É possível que esse efeito esteja relacionado com a maior liberação de K nos sítios de troca, dependendo do aumento dos teores de Ca trocável no solo em função da calagem (Nogueira & Mozeto, 1990). É importante ressaltar que, embora a teoria mostre que o desbalanço entre K e Ca em solução seja deletério para a nutrição de planta, inúmeros trabalhos têm demonstrado que a disponibilidade de K para várias plantas não é afetada pelos altos teores de Ca e Mg em solução. Porém, para Mg a relação é verdadeira, isto é, sérias deficiências de Mg podem ser observadas em solos com elevados teores de K (Kissel *et al.*, 1985).

A espécie *V. japurensis* situada no tratamento P+Cal+G foi a espécie que apresentou o maior acúmulo de Ca nas folhas, tanto no período chuvoso quanto no período seco (7,2 e 2,2 g kg⁻¹, respectivamente) (Tabela 1). Outra espécie que apresentou diferença entre os tratamentos foi *L. procera*, porém, somente no período seco, onde, tanto o tratamento P+Cal (4,7 g kg⁻¹) quanto o tratamento P+Cal+G (4,7 g kg⁻¹) diferiram do tratamento P (2,5 g kg⁻¹). Comparando os teores foliares de Ca entre as espécies para cada tratamento isolado, verificou-se que *L. procera* foi a espécie que mais acumulou Ca nas

folhas, tanto no período chuvoso quanto no período seco, na maioria dos tratamentos, com exceção dos tratamentos controle no período chuvoso e do tratamento P no período seco. Comparando-se os teores foliares de Ca das espécies entre os períodos distintos de precipitação, observou-se que os teores desse nutriente foram maiores para *V. japurensis* no período chuvoso em relação ao período seco em todos os tratamentos. Adicionalmente, verificou-se que *B. grossularioides* apresentou teores superiores nos tratamentos P e P+Cal no período chuvoso (3,1 e 3,7 g kg⁻¹, respectivamente) em comparação com o período seco (1,6 e 1,9 g kg⁻¹, respectivamente). Por sua vez, *L. procera* apresentou diferença nos teores foliares de Ca entre os períodos distintos de precipitação, somente no tratamento P (7,1 e 2,5 g kg⁻¹, para os períodos chuvoso e seco, respectivamente).

Esses maiores teores foliares de Ca nos tratamentos P+Cal e P+Cal+G para essas espécies são reflexos dos maiores teores desse nutriente encontrados nas primeiras camadas dos solos daqueles sítios. Ao contrário, em estudo realizado por Silva *et al.* (1994), o efeito da calagem sobre as concentrações foliares de Ca e de Mg não acompanhou precisamente os aumentos detectados nas análises de solo. O grande acúmulo de Ca observado para a espécie *L. procera* em relação às demais espécies estudadas pode ser considerado uma característica da espécie, haja vista que, o conteúdo de Ca nas plantas é, em grande parte, controlado geneticamente e, via de regra, pouco afetado pelo suprimento de Ca no ambiente da raiz, contanto que a disponibilidade de Ca seja adequada para o crescimento normal da planta (Malavolta, 1992a). Considerando-se que a disponibilidade de nutrientes no solo também é função da maior solubilização, os maiores teores de Ca observados para as diferentes espécies no período chuvoso, em comparação com o período seco, podem ter sido causados pela maior quantidade de chuvas ocorridas durante o experimento.

A espécie *V. japurensis* apresentou maiores teores de Mg para o tratamento P+Cal+G (2,8 g kg⁻¹) em relação aos demais tratamentos no período chuvoso (Tabela 1). No entanto, *B. grossularioides* apresentou maiores teores de Mg tratamento P+Cal (3,0 g kg⁻¹) comparado com o tratamento controle (1,8 g kg⁻¹), também no período chuvoso. Já em *L. procera*, os maiores teores de Mg foram observados no tratamento P+Cal (1,7 g kg⁻¹) comparado com o tratamento P (0,8 g kg⁻¹), no período de menor precipitação. Analisando-se os teores foliares de Mg entre as diferentes espécies, observou-se que, em geral, a espécie que menos acumulou Mg nas folhas foi *V. japurensis*, na maioria dos tratamentos. Quando comparados os teores foliares de Mg entre os períodos distintos de precipitação, tanto *V. japurensis* quanto *B. grossularioides* apresentaram maiores teores no período

chuvoso em relação ao período seco, para todos os tratamentos. Adicionalmente, observou-se que, para a espécie *L. procera*, somente o tratamento P+Cal mostrou maiores valores de Mg no período chuvoso ($2,4 \text{ g kg}^{-1}$) em relação ao período seco ($1,7 \text{ g kg}^{-1}$).

Apesar de terem sido observados maiores teores de Mg nas camadas superficiais dos solos nos tratamentos P+Cal e P+Cal+G, somente as espécies *V. japurensis* e *B. grossularioides* apresentaram maiores teores foliares desse nutriente. Isso ocorreu no período de maior precipitação, quando pode ter havido maior solubilização desse nutriente. Provavelmente, o crescimento dessas espécies não seja limitado pela ausência de Mg, tampouco a presença em excesso favoreça a maior absorção desse nutriente por essas plantas aclimatadas a ambientes tipicamente ácidos e com baixos teores desses nutrientes. Resultados semelhantes foram observados por Gehring *et al.* (1999), onde destacam que somente N e P exibiram teores limitantes ao crescimento de espécies pioneiras sobre áreas degradadas na Amazônia.

Teores de micronutrientes

Os resultados dos teores foliares dos micronutrientes entre os tratamentos mostraram que, para o nutriente Fe, os maiores valores foram observados no tratamento controle, porém, somente para as espécies *V. japurensis* e *B. grossularioides*. Provavelmente isto ocorreu em função do tempo de reação do calcário aplicado nos tratamentos, visto que, numa segunda coleta (seis meses depois) foram observados maiores teores de Fe nas folhas da *L. procera* no tratamento controle comparado com os demais tratamentos (Tabela 2). Baixos teores de Mn foram observados em *V. japurensis* no tratamento P+Cal, tanto no período chuvoso quanto no período seco. Para o nutriente Zn, verificou-se não haver diferença nos teores, entre os tratamentos, para nenhuma espécie nos períodos distintos de precipitação. Analisando-se os teores foliares dos micronutrientes entre as espécies, verificou-se pouca variação nos teores de Fe. Porém, para os teores de Mn e Zn, *L. procera* foi a espécie que apresentou, respectivamente, os maiores e menores teores desses nutrientes na maioria dos tratamentos, tanto no período chuvoso quanto no período seco. Comparando-se os teores foliares dos micronutrientes nos diferentes períodos de precipitação, para as três espécies, verificou-se que o período chuvoso apresentou elevados teores foliares de Fe, Mn e Zn em comparação com o período seco, para a maioria dos tratamentos.

Tabela 2: Teores foliares dos micronutrientes de três espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez e adubação fosfatada.

Período	Tratamento	<i>V. japurensis</i>	<i>B. grossularioides</i>	<i>L. procera</i>
Fe (mg kg⁻¹)				
Chuvoso	controle	B 35,9 ± 4,35 Aa	A 51,3 ± 9,10 Aa	C 17,9 ± 1,95 Bc
	P	C 15,9 ± 2,91 Ab	B 25,9 ± 1,90 Ac	A 39,3 ± 5,21 Ab
	P+Cal	A 28,4 ± 2,83 Ab	A 32,8 ± 5,80 Abc	A 29,8 ± 7,00 Abc
	P+Cal+G	C 26,1 ± 0,84 Ab	B 44,7 ± 2,96 Aab	A 53,8 ± 2,91 Aa
Seco	controle	A 21,7 ± 3,21 Ba	A 22,3 ± 4,51 Ba	A 41,0 ± 16,5 Aa
	P	B 14,7 ± 0,58 Aa	A 24,0 ± 1,00 Aa	AB 17,7 ± 4,73 Bb
	P+Cal	A 13,7 ± 3,06 Ba	A 18,3 ± 4,51 Ba	A 15,0 ± 2,00 Bb
	P+Cal+G	A 14,0 ± 5,60 Ba	A 16,0 ± 1,00 Ba	A 10,0 ± 1,73 Bb
Mn (mg kg⁻¹)				
Chuvoso	controle	B 40,1 ± 13,2 Aab	B 35,3 ± 8,37 Aa	A 93,4 ± 20,0 Aa
	P	B 45,3 ± 7,69 Aab	B 34,1 ± 5,39 Aa	A 71,6 ± 13,2 Aa
	P+Cal	B 26,2 ± 10,6 Ab	B 22,8 ± 5,75 Aa	A 126 ± 41,0 Aa
	P+Cal+G	B 60,4 ± 12,2 Aa	C 25,9 ± 2,83 Aa	A 106 ± 11,4 Aa
Seco	controle	B 25,0 ± 4,36 Ba	B 17,7 ± 4,73 Ba	A 48,0 ± 13,2 Ba
	P	B 23,3 ± 4,73 Ba	B 16,7 ± 1,15 Ba	A 35,3 ± 4,16 Ba
	P+Cal	B 11,3 ± 2,52 Bb	B 11,7 ± 3,06 Ba	A 42,0 ± 11,1 Ba
	P+Cal+G	B 21,0 ± 1,73 Ba	C 11,3 ± 2,89 Ba	A 28,3 ± 3,79 Ba
Zn (mg kg⁻¹)				
Chuvoso	controle	A 29,9 ± 7,07 Aa	A 34,3 ± 6,84 Aa	B 11,2 ± 0,60 Aa
	P	AB 30,2 ± 3,56 Aa	A 39,2 ± 11,4 Aa	B 18,2 ± 3,75 Aa
	P+Cal	B 25,3 ± 3,48 Aa	A 36,3 ± 1,46 Aa	C 8,5 ± 5,77 Aa
	P+Cal+G	A 35,7 ± 4,04 Aa	A 38,0 ± 5,55 Aa	B 12,3 ± 4,81 Aa
Seco	controle	A 12,7 ± 4,93 Ba	A 13,7 ± 2,08 Ba	A 6,3 ± 3,11 Ba
	P	A 11,6 ± 1,15 Ba	A 14,0 ± 2,65 Ba	A 6,0 ± 8,72 Ba
	P+Cal	B 6,7 ± 2,52 Ba	A 15,0 ± 3,00 Ba	B 5,7 ± 1,15 Aa
	P+Cal+G	A 8,7 ± 4,62 Ba	A 16,3 ± 5,13 Ba	B 1,7 ± 0,58 Ba

Os valores são médias ± desvios padrão. Médias seguidas da mesma letra maiúscula (esquerda) na horizontal, para as espécies, e da mesma letra maiúscula e minúscula (direita) na vertical, para período e tratamento, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% (n=3).

Segundo Nunes *et al.* (2004), a baixas concentrações de Fe na planta pode ser causada por condições que afetam o transporte deste nutriente no solo, como teores de P, valores elevados de pH e déficit hídrico no solo. Portanto, os maiores teores de Fe observados para *V. japurensis* e para *B. grossularioides* e, mais tarde, para *L. procera* no tratamento controle, podem ser, em parte, explicados pelo fato dos demais tratamentos terem sofrido aplicação de calcário e fosfato. Vários autores relacionam a correção da acidez do solo com a redução na concentração dos micronutrientes foliares, uma vez que a absorção desses elementos pelas plantas decresce com a elevação do pH em decorrência da formação de óxidos e hidróxidos de baixa solubilidade (Sharma, 1991; Malavolta, 1992a; Caires & Fonseca, 2000; Oliveira Jr. *et al.*, 2000; Roque *et al.*, 2004). No entanto, para os teores foliares dos nutrientes Mn e Zn, não foi observado tal comportamento para as

espécies *B. grossularioides* e *L. proceras*; somente *V. japurensis* apresentou menores teores foliares de Mn no tratamento P+Cal quando comparados com os demais tratamentos. Os teores foliares de Mn observados no tratamento controle para *B. grossularioides* (17,7 mg kg⁻¹) são semelhantes aqueles obtidos por Santos Jr. (2003) para a mesma espécie (17,9 mg kg⁻¹), em estudo do comportamento de plantas jovens sobre áreas degradadas pela atividade petrolífera. Isso mostra que, apesar de não significativos, os menores teores de Mn observados nos tratamentos P+Cal e P+Cal+G para essa espécie, exibem tendência na redução dos teores foliares desses nutrientes nos tratamentos que receberam calagem. Portanto, uma provável explicação para o reduzido efeito da correção do solo nos teores foliares dos micronutrientes para essas espécies estudadas, foi o tempo de reação do calcário na área do experimento (oito meses). Roque *et al.* (2004) estudando o comportamento da seringueira, observou um decréscimo nos teores foliares de Zn após 14 meses da aplicação do corretivo da acidez do solo. Este fato demonstra que o tempo de reação do calcário aplicado pode ter significativa importância na concentração foliar dos nutrientes, em particular, de micronutrientes como o Zn. Com relação a concentração foliar dos micronutrientes nos diferentes períodos sazonais, a diminuição da precipitação pode ter influenciado na menor absorção dos micronutrientes (Fe, Mn e Zn) pelas espécies estudadas, uma vez que, até mesmo na área sem tratamento (controle), observou-se uma redução nos teores foliares desses micronutrientes, quando comparado com o período chuvoso. Conforme Nunes *et al.* (2004), o déficit hídrico no solo pode causar redução na absorção desses micronutrientes e, conseqüentemente, ter como reflexo menores teores foliares.

Equilíbrio de cátions

O equilíbrio nutricional dos cátions, como K, Ca e Mg, nas folhas das espécies estudadas demonstrou que o Mg foi o elemento menos acumulado nas plantas quando comparado com Ca e K nos diferentes tratamentos e nos diferentes períodos de precipitação (Figura 10). Os resultados também mostraram que *V. japurensis*, nos períodos distintos de precipitação, acumulou mais Ca nos tratamentos que receberam aplicação de calcário e, também, no tratamento que recebeu somente aplicação de fosfato, exceção feita ao tratamento P+Cal que acumulou menos Ca e mais K no período chuvoso. Para *B. grossularioides*, observou-se maior acúmulo de K foliar nas plantas no tratamento P+Cal, no período de maior precipitação. Adicionalmente, verificou-se que, tanto no período

chuvoso quanto no período seco, essa espécie apresentou maior acúmulo de K foliar nas plantas nos tratamentos P+Cal+G e controle. Somente no tratamento P verificou-se um menor acúmulo de K nas folhas. Os resultados também mostraram que *L. procera*, foi a única espécie que apresentou maior acúmulo de Ca nas folhas seguida do nutriente K em todos os tratamentos, inclusive o tratamento controle, tanto no período chuvoso quanto no período seco.

O menor acúmulo de Mg observado para as espécies deste experimento concordam com os resultados obtidos por Santos Jr. (2003) em estudo sobre o comportamento de espécies pioneiras sobre área degradadas pela atividade petrolífera na Amazônia. Como se sabe, o Mg possui efeito sinérgico ao P (Reiheimer, 2000), portanto, esse menor acúmulo de Mg foliar para essas espécies nos diferentes tratamentos, comparados com os demais cátions (Ca e K), pode ser reflexo dos teores foliares de P observados para essas espécies, as quais, na maioria dos casos, não apresentaram diferenças entre os tratamentos, apesar de três dos quatro tratamentos terem sido adubados com fosfato. Observou-se, ainda, que a espécie *B. grossularioides* parece ter maior preferência pelo nutriente K, seguido do nutriente Ca, na maioria dos tratamentos, o que vai contra aos resultados observados por Santos Jr. (2003) onde a mesma espécie apresentou maior acúmulo de Ca, seguido do nutriente K. O equilíbrio nutricional de cátions para *L. procera* mostrou que esta espécie tem preferência pelo nutriente Ca, uma vez que, até mesmo na área que não sofreu aplicação de calcário (controle), o acúmulo desse nutriente foi maior, tanto no período chuvoso quanto no período seco. Isto difere do comportamento observado para *V. japurensis*, onde, apesar dos tratamentos P+Cal e P+Cal+G apresentarem maior acúmulo de Ca, o tratamento controle mostrou maior acúmulo de K nas folhas. É curioso notar que *V. japurensis* acumulou mais K no período de maior precipitação no tratamento P+Cal, uma vez que, o maior acúmulo desse nutriente se dá, preferencialmente, para muitas espécies, no período de menor precipitação pelo fato desse elemento naturalmente estar envolvido em diversos processos metabólicos, em especial, na regulação osmótica que é, usualmente, uma estratégia das plantas no período de menor disponibilidade hídrica (Malavolta, 1980). Contudo, o maior acúmulo de K foliar observado para *V. japurensis* pode ser reflexo de uma maior oferta desse nutriente no solo que, por sua vez, é aumentada numa maior presença de frações orgânicas ligadas ao Ca nos solos corrigidos (Mendonça & Rowell, 1994).

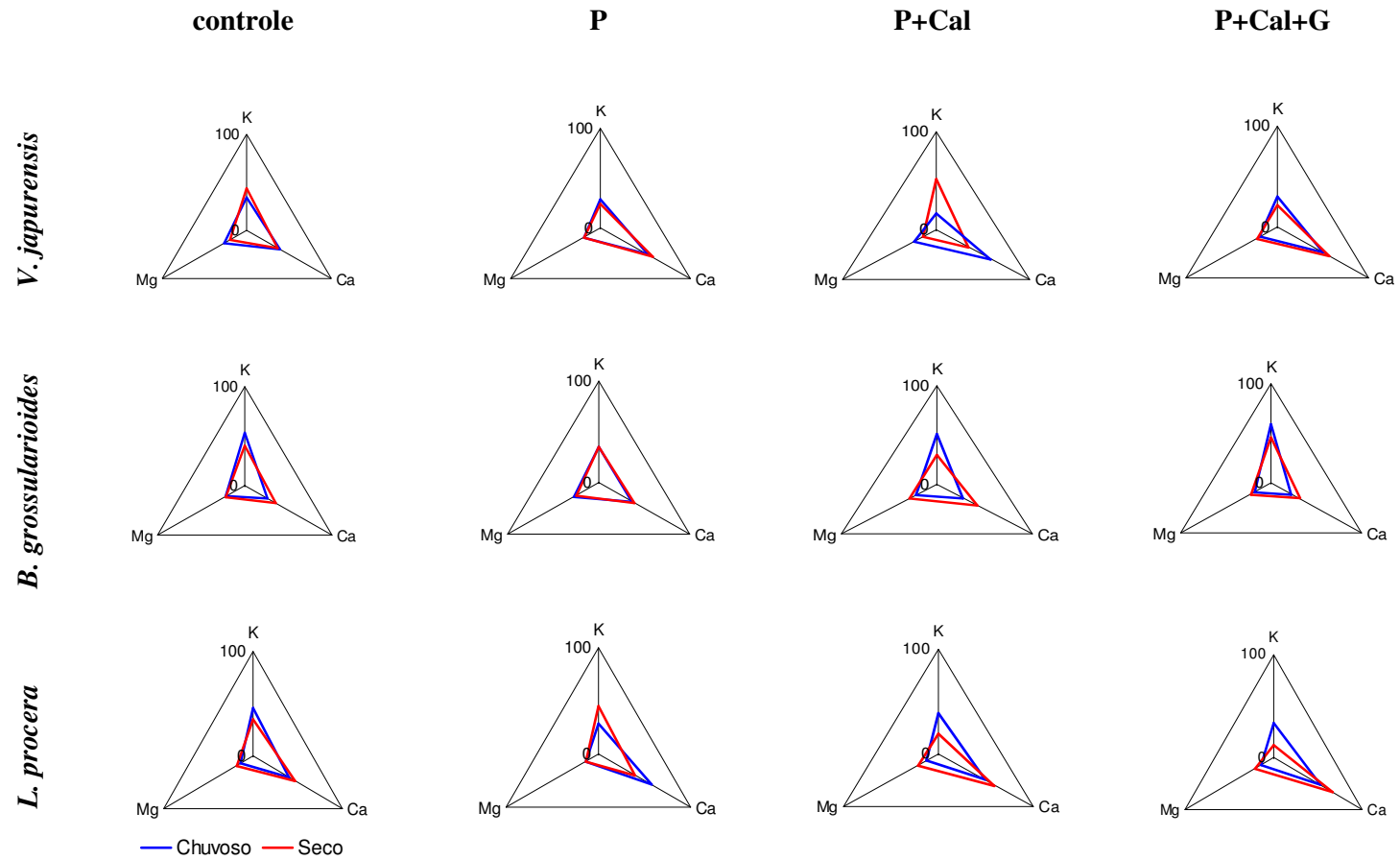


Figura 10: Equilíbrio nutricional dos cátions foliares K, Ca e Mg (%) de três espécies pioneiras, em diferentes tratamentos de correção da acidez do solo e adubação fosfatada durante os diferentes períodos sazonais.

3.3. Área foliar específica e potencial hídrico foliar

A área foliar específica (AFE) não mostrou diferenças entre os tratamentos, tanto para *V. japurensis* quanto para *B. grossularioides*, no período chuvoso; somente a espécie *L. procera*, onde o tratamento controle apresentou baixos valores, comparado com o tratamento P+Cal+G (Tabela 3). No período seco, verificou-se que as três espécies estudadas apresentaram baixos valores no tratamento controle em relação aos demais tratamentos. Analisando os resultados entre as espécies, observou-se que, de modo geral, *V. japurensis* e *L. procera* foram as espécies que apresentaram as menores e maiores médias. Comparando os diferentes períodos de precipitação, somente o tratamento P apresentou variação na área foliar específica para as espécies *V. japurensis* e *L. procera*, que apresentaram um aumento de 20,5% e 11,7%, respectivamente, no período seco, comparado com o período chuvoso; *B. grossularioides* apresentou comportamento contrário, com uma redução de 17,8% no mesmo tratamento.

Tabela 3: Área foliar específica ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$) de três espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez e adubação fosfatada.

Período	Tratamento	<i>V. japurensis</i>	<i>B. grossularioides</i>	<i>L. procera</i>
Chuvoso	controle	B 8,0 ± 0,10 Aa	AB 9,0 ± 1,11 Aa	A 10,5 ± 0,70 Ab
	P	B 7,9 ± 0,41 Ba	A 11,7 ± 0,24 Aa	A 11,1 ± 0,44 Bb
	P+Cal	B 8,9 ± 0,38 Aa	AB 10,0 ± 1,62 Aa	A 12,2 ± 1,20 Aab
	P+Cal+G	B 8,9 ± 0,56 Aa	B 10,0 ± 1,96 Aa	A 13,6 ± 0,50 Aa
Seco	controle	B 8,7 ± 0,20 Ab	C 7,7 ± 0,44 Ad	A 10,6 ± 0,35 Ab
	P	B 9,5 ± 0,36 Aa	B 9,6 ± 0,18 Ba	A 12,4 ± 0,17 Aa
	P+Cal	B 9,5 ± 0,37 Aa	C 8,7 ± 0,15 Abc	A 12,7 ± 0,25 Aa
	P+Cal+G	B 9,5 ± 0,26 Aa	B 9,3 ± 0,33 Aab	A 12,3 ± 0,25 Aa

Os valores são médias ± desvios padrão. Médias seguidas da mesma letra maiúscula (esquerda) na horizontal, para as espécies, e da mesma letra maiúscula e minúscula (direita) na vertical, para período e tratamento, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% (n=3).

Muitos autores afirmam que a expansão da área foliar é uma característica da planta muito sensível às alterações do meio, uma vez que esses afetam diretamente os processos fisiológicos, pois, está relacionada com a característica da planta em criar condições estratégicas para a sua sobrevivência (Reich *et al.*, 1998). Geralmente, espécies com menor área foliar específica, têm altas correlações com maior lignificação, menor tamanho celular, baixo conteúdo de umidade e concentração de N (Pooter & Jong, 1999). Assim, os baixos valores de área foliar específica, observados para as três espécies estudadas no

tratamento controle (período seco), podem significar que a melhoria do ambiente edáfico nos demais tratamentos (P, P+Cal e P+Cal+G), de certa forma, pode ter contribuído para uma alteração na estrutura foliar das espécies, em função da maior oferta de nutrientes naqueles sítios. Por outro lado, nota-se que, dentre as espécies estudadas, *V. japurensis* apresentou os menores valores de área foliar específica, provavelmente em resposta a baixos teores foliares de N observados para essa espécie no período seco, haja vista, haver forte correlação entre essas duas variáveis (Reich *et al.*, 1999).

Os resultados dos potenciais hídricos foliares, coletados na antemanhã (Ψ_{am}), comparando os diferentes tratamentos, foram menores para *V. japurensis* no tratamento P+Cal+G, no período chuvoso (Tabela 4). No entanto, para *B. grossularioides* e para *L. procera*, os menores valores foram observados no tratamento P+Cal, no mesmo período de precipitação. Por outro lado, no período seco, os menores valores do Ψ_{am} foram observados nos tratamentos P e controle para *V. japurensis*, e no tratamento P para *B. grossularioides* e para *L. procera*.

Tabela 4: Potencial hídrico foliar na antemanhã (Ψ_{am}) e ao meio-dia (Ψ_{md}) de três espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez e adubação fosfatada.

Período	Tratamento	<i>V. japurensis</i>	<i>B. grossularioides</i>	<i>L. procera</i>
Ψ_{am} (MPa)				
Chuvoso	controle	A -0,12 ± 0,03 Aa	A -0,12 ± 0,02 Aa	A -0,11 ± 0,01 Aa
	P	A -0,12 ± 0,04 Aa	A -0,20 ± 0,10 Aab	A -0,15 ± 0,05 Aa
	P+Cal	A -0,15 ± 0,03 Aab	B -0,23 ± 0,03 Ab	B -0,26 ± 0,01 Ab
	P+Cal+G	B -0,21 ± 0,01 Ab	AB -0,15 ± 0,03 Aab	A -0,12 ± 0,03 Aa
Seco	controle	A -0,30 ± 0,00 Bb	A -0,30 ± 0,05 Bab	A -0,32 ± 0,06 Bab
	P	A -0,32 ± 0,03 Bb	A -0,33 ± 0,04 Ab	A -0,38 ± 0,03 Bb
	P+Cal	A -0,17 ± 0,03 Aa	A -0,22 ± 0,03 Aa	A -0,20 ± 0,05 Aa
	P+Cal+G	A -0,25 ± 0,05 Aab	A -0,27 ± 0,08 Aab	A -0,33 ± 0,08 Bab
Ψ_{md} (MPa)				
Chuvoso	controle	A -1,07 ± 0,15 Aa	A -1,23 ± 0,12 Aa	A -1,18 ± 0,33 Aa
	P	A -0,90 ± 0,20 Aa	A -0,92 ± 0,03 Aa	B -1,28 ± 0,13 Aa
	P+Cal	B -1,50 ± 0,05 Ab	A -1,13 ± 0,20 Aa	B -1,58 ± 0,10 Aab
	P+Cal+G	A -1,20 ± 0,10 Aab	B -1,85 ± 0,25 Ab	B -1,87 ± 0,21 Ab
Seco	controle	A -1,92 ± 0,06 Bb	B -2,37 ± 0,06 Bb	A -2,00 ± 0,05 Ba
	P	A -1,58 ± 0,14 Ba	B -2,02 ± 0,07 Ba	B -1,92 ± 0,03 Ba
	P+Cal	A -2,17 ± 0,06 Bc	A -2,13 ± 0,06 Ba	B -2,50 ± 0,10 Bb
	P+Cal+G	A -2,00 ± 0,05 Bcb	A -2,08 ± 0,13 Aa	B -2,50 ± 0,10 Bb

Os valores são médias ± desvios padrão. Médias seguidas da mesma letra maiúscula (esquerda) na horizontal, para as espécies, e da mesma letra maiúscula e minúscula (direita) na vertical, para período e tratamento, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% (n=3).

Comparando-se os valores de Ψ_{am} entre as espécies, verificou-se que, no período chuvoso, *B. grossularioides* e *L. procera* apresentaram menores valores comparados com *V. japurensis* no tratamento P+Cal. Efeito contrário foi observado no tratamento P+Cal+G, onde *V. japurensis* apresentou menores valores comparado com *L. procera*. No período de menor precipitação, não foram observadas diferenças entre as espécies em nenhum tratamento. Comparando-se os valores de Ψ_{am} entre as os diferentes períodos de precipitação, observou-se que, para *V. japurensis*, ocorreu uma redução no valor do potencial hídrico nos tratamentos P e controle. No entanto, para *B. grossularioides*, o tratamento controle apresentou uma redução no Ψ_{am} no período seco. Já para *L. procera*, somente no tratamento P+Cal não foi observada diferença entre os distintos períodos de precipitação.

Os resultados dos potenciais hídricos foliares, coletados ao meio-dia (Ψ_{md}), comparando os diferentes tratamentos, foram menores para *V. japurensis* no tratamento P+Cal, tanto no período chuvoso quanto no período seco (Tabela 4). Verificou-se, ainda, que para *B. grossularioides*, os menores valores foram observados no tratamento P+Cal, no período chuvoso, e no tratamento controle, no período seco. *L. procera*, no período chuvoso, apresentou os menores valores no tratamento P+Cal+G e, no período seco, nos tratamentos P+Cal e P+Cal+G. Analisando-se os resultados do Ψ_{md} entre as espécies, verificou-se que *L. procera* foi a espécie que apresentou os menores valores, para a maioria dos tratamentos, nos distintos períodos de precipitação. Comparando-se os valores de Ψ_{md} entre os diferentes períodos sazonais, verificou-se que as três espécies estudadas apresentaram uma diminuição no potencial hídrico foliar no período de menor precipitação.

De maneira geral, o suprimento de água para as plantas está diretamente associado à turgescência das células e, dessa forma, permite a continuidade dos processos inerentes ao crescimento e desenvolvimento vegetal, como por exemplo, a expansão e divisão celular, bem como a fotossíntese (Petty, 1991; Grant, 1992). Contudo, em condições de déficit hídrico, há um acentuado declínio nesses processos, e nesse contexto, a redução da área foliar pode ser considerada como a primeira resposta das plantas em relação à baixa disponibilidade hídrica (Santos & Carlesso, 1998). Dessa forma, os maiores valores da área foliar específica, observados para *V. japurensis* e para *L. procera*, nos tratamentos P+Cal e P+Cal+G, comparados com os demais tratamentos, no período de menor precipitação (Figura 11), podem ser resultantes dos menores valores de Ψ_{md} obtidos para essa espécie,

que, por sua vez, podem ser reflexo de uma maior concentração de solutos nas células, decorrentes de uma maior acumulação de nutrientes foliares (N, Ca e Mg), favorecidos pela adubação fosfatada e aplicação de calcário. Além disso, as menores médias da área foliar específica observadas para *V. japurensis* ($9,3 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$), no período seco, também, foram acompanhados de teores mais baixos de N foliar ($10,5 \text{ g kg}^{-1}$), o que concordam com os resultados obtidos por Reich *et al.* (1999), que encontrou uma alta relação entre a área foliar específica e a concentração de N foliar em espécies de sucessão secundária. Segundo Wrigth *et al.* (1983), o déficit hídrico aumenta a senescência das folhas porque o solo seco não fornece N em quantidades satisfatórias para suprir a necessidade da planta, em função da redução da atividade microbiótica. Assim, o N no interior da planta é retranslocado das folhas mais velhas para os pontos de crescimento. Além disso, há também, um aumento no fluxo de aminoácidos das raízes para as folhas (Lea & Blackwell, 1992; Oaks, 1992). Entretanto, a intensidade desses processos depende da quantidade de N no solo e das reservas de N na planta (Wolfe *et al.*, 1988). Dessa forma, como podemos observar na Figura 11, na maioria dos tratamentos houve um aumento na concentração de N foliar, no período de menor precipitação, tanto para *B. grossularioides* quanto para *L. procera*, provavelmente por efeito dessa translocação. Portanto, as diferenças nos teores foliares de N e na área foliar específica, observados nesse estudo, deixam claro que, para algumas espécies, o grau de precipitação pode ser de grande relevância para a performance fotossintética da planta, uma vez que, tanto a quantidade de N foliar, quanto a área foliar específica contribuem para uma maior ou menor eficiência no acúmulo de biomassa pela plantas.

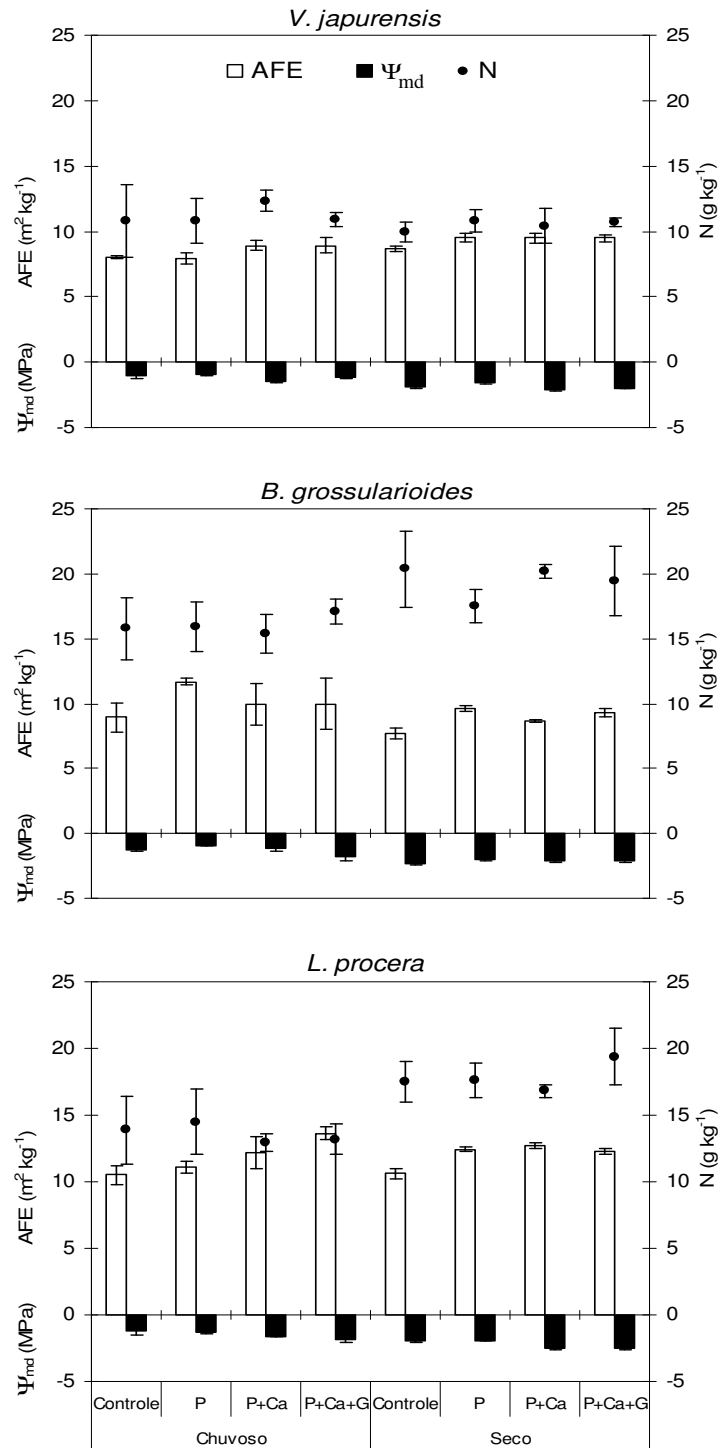


Figura 11: Área foliar específica (AFE), potencial hídrico foliar ao meio-dia (Ψ_{md}) e teores de N de três espécies pioneiras, em diferentes tratamentos de correção da acidez do solo e adubação fosfatada durante os diferentes períodos sazonais. Os valores são médias e as linhas verticais são desvios padrão (n=3).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- No solo, de maneira geral, a aplicação de calcário e de fósforo favoreceu a maior disponibilidade dos nutrientes para as plantas nas camadas mais superficiais do solo, com destaque para os teores de P, K, Ca e Mg.
- Plantas de *B. grossularioides* parecem ser mais exigentes na utilização do N, quando comparadas com as demais espécies estudadas, uma vez que os menores valores observados para essa espécie no tratamento controle foram superiores aos observados para *L. proceras* e para *V. jaturensis* nos tratamentos com aplicação de calcário e adubo fosfatado.
- Os teores foliares de N aumentaram em *B. grossularioides* e *L. proceras*, em função da redução no potencial hídrico foliar na maioria dos tratamentos, o que não ocorreu com *V. jaturensis*.
- Plantas de *L. proceras* acumularam mais Ca nas folhas, nos diferentes períodos de precipitação.
- A área foliar específica, para *L. proceras*, foi maior em função do menor potencial hídrico foliar observado para essa espécie.
- Numa análise geral, as três espécies estudadas apresentaram estratégias diferenciadas com relação à obtenção de água e de nutrientes. Porém, esses resultados evidenciam que a adição de cátions aponta para uma otimização no desempenho dessas espécies quando crescidas em áreas de pastagens degradadas.

CAPÍTULO II: Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* de espécies pioneiras após correção da acidez do solo e adubação fosfatada sobre área degradada na Amazônia central.

1. INTRODUÇÃO

Plantas que crescem em ambientes com baixa disponibilidade de nutrientes, altas intensidades luminosas, e passando anualmente por reduzida precipitação como ocorrem em áreas de pastagens degradadas na Amazônia, necessitam desenvolver estratégias adaptativas que favoreçam o sucesso do seu crescimento nessas áreas durante o seu ciclo de vida (Miriti, 1998; Moran *et al.*, 2000, Puerta, 2002). Dessa forma, vários fatores ligados à eficiência fotossintética, como a absorção e utilização da energia luminosa, assimilação de carbono e regulação na utilização de água e de nutrientes, podem ser otimizados em função das diferentes exigências de cada espécie (Santos Jr., 2003). Nesse sentido, torna-se necessário o conhecimento dos mecanismos envolvidos na captação e utilização dos recursos primários, dos processos metabólicos envolvidos com a assimilação de carbono e das estratégias utilizadas pelas diferentes espécies para maximizar a assimilação de CO₂ e nutrientes, e minimizar a perda excessiva de água sob condições de estresses para uma melhor compreensão dos aspectos funcionais das diferentes espécies que compõem o quadro sucessional nas áreas degradadas.

Diante do exposto, grandes processos fisiológicos como a fotossíntese, determina, em grande parte, o crescimento da planta, utilizando como fonte primária a energia luminosa, convertendo-a em energia química resultando na redução de moléculas de CO₂ em compostos orgânicos. Esse processo, realizado dentro dos cloroplastos, acontece em duas etapas interdependentes e simultâneas, denominadas de fotoquímica e bioquímica (Salisbury & Ross, 1992, Taiz & Zeiger, 2004).

A etapa fotoquímica consiste na absorção da irradiância fotossinteticamente ativa, através das clorofilas e carotenoides, obedecendo a uma seqüência de transferência elétrica que envolve a participação de complexos protéicos, por meio dos quais, ocorrem as sínteses NADPH e ATP (Krause & Weis, 1991; Allen & Pfannschmidt, 2000; Hillier & Babcock, 2001). Paralelamente, a etapa bioquímica têm seu início a partir da reação entre a Ribulose-1,5-bisfosfato (RuBP) e o CO₂, absorvido através dos estômatos, envolvendo várias reações enzimáticas, até sua redução em compostos orgânicos (Allen, 2002; Taiz & Zeiger, 2004). Uma pequena parcela do carbono assimilado pelo processo fotossintético é

utilizado no acúmulo de biomassa e, conseqüentemente, no crescimento da planta, contudo, uma significativa quantidade dos carboidratos reduzidos é convertida em ATP através do processo de respiração (Hunt, 2003). Sendo assim, reduzida absorção de luz pode significar que o CO₂ liberado pela respiração excede a quantidade fixada pelo processo fotossintético. Por outro lado, o excesso pode contribuir para a ocorrência de fotoinibição, uma vez que, quantidades excessivas de irradiância, acima da capacidade de utilização pela fotossíntese, pode resultar em situação de estresse para a planta (Barber & Anderson, 1992; Barth *et al.*, 2001). Além do mais, quando esse excesso de irradiância é associado a outros fatores como a deficiência hídrica e/ou nutricional, o processo inibitório pode ser amplificado consideravelmente, podendo, inclusive, ser decisivo para sobrevivência da planta (Evan & Pooter, 2001; Thomas & Turner, 2001). O estresse hídrico, por sua vez, ocasiona substancial redução nas taxas de assimilação de CO₂ e, por esse motivo, a fotossíntese torna-se limitada, em particular, pela redução da concentração de CO₂ intercelular devido ao fechamento estomático (Lopes *et al.*, 1988; Wingler *et al.*, 1999). Os processos de difusão da entrada de CO₂ e saída de vapor de H₂O na folha são, de certa forma, controlados pelo estômato, atribuindo-se maior eficiência na utilização desses recursos para as plantas que conseguem maior taxa fotossintética com menor perda de água por transpiração (Osmond *et al.*, 1980). No caso da fotoinibição, verifica-se diminuição do rendimento quântico fotossintético em função das alterações nas atividades do fotossistema II, sendo, portanto, detectadas por meio da emissão ou não de fluorescência (Krause & Weis, 1991). O funcionamento do fotossistema II é um indicador muito sensível para identificar estresse em plantas, pois, vários estudos têm demonstrado que este é o primeiro sítio de inibição em plantas sob condições de estresse (Krause, 1988; Aro *et al.*, 1993; Ball *et al.*, 1994).

O acompanhamento da emissão da fluorescência da clorofila *a* é uma técnica que tem sido efetiva para quantificar o efeito do estresse ambiental, sobre as funções de captura e utilização de luz pelas plantas (Adams *et al.*, 1999; Richardson & Berlyn, 2002). As variáveis, normalmente associados à fluorescência da clorofila *a* incluem: a fluorescência inicial (F_o), a qual ocorre quando os centros de reação do fotossistema II estão completamente abertos devido ao estado de completa oxidação da Q_A ; a fluorescência máxima (F_m), a qual ocorre quando o centro de reação está completamente fechado devido a completa redução da Q_A ; e a fluorescência variável (F_v) que é a diferença entre as variáveis F_m e F_o . Quando as determinações são realizadas em folhas adaptadas ao escuro, a razão F_v/F_m é proporcional à eficiência fotoquímica do fotossistema II (Krause & Weis,

1991). Adicionalmente, outras variáveis (F_v/T_m , F_m/F_o e F_v/F_o) têm sido sugeridas para investigar o grau de fotoinibição causados ao aparato fotossintético de plantas situadas em ambientes estressantes como, por exemplo, baixa disponibilidade hídrica e/ou nutricional que, por sua vez, também contribuem significativamente para uma redução na taxa fotossintética (Thomas & Turner, 2001; Richardson & Berlyn, 2002; Oliveira *et al.*, 2002).

Portanto, considerando que as diferentes espécies estudadas fazem parte do mesmo grupo sucessional, procurou-se investigar como espécies pioneiras usam os recursos primários (luz e CO₂), quando submetidas a modificações no ambiente edáfico. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi obter respostas do comportamento fotossintético de espécies pioneiras submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez do solo e adubação fosfatada em áreas degradadas na Amazônia central.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de estudo

A área de estudo está localizada no km 53 da rodovia BR-174, ao norte da cidade de Manaus (2°34' S, 60°02' W) (ver detalhe no Capítulo I). O sítio usado para instalação do experimento, anteriormente, foi uma área de pastagem que, após o uso e posterior degradação, foi abandonada, onde se desenvolveram espécies pioneiras. As espécies estudadas (*Vismia japurensis*, *Bellucia grossularioides* e *Laetia procera*) foram aquelas que se destacaram pela maior frequência na área do estudo, conforme descrito por Mesquita *et al.* (2001) e Feldepausch *et al.* (2004).

2.2. Determinação das trocas gasosas em folhas

As determinações das taxas de fotossíntese líquida (A), de transpiração (E), da condutância estomática (g_s) e da respiração (R_d), foram realizadas por meio de um analisador de gás infravermelho (IRGA) portátil, de sistema aberto, modelo LI-COR 6400 entre 08:00 e 11:00 horas da manhã (Marenco *et al.*, 2001). Os dados foram coletados em folhas completamente expandidas, apresentando bom estado fitossanitário e situadas no terço médio da copa. Para cada espécie, foi selecionada uma folha de uma planta para compor a repetição, constituindo um total de três repetições (indivíduo) por espécie por tratamento (adubação). Os dados da resposta fotossintética à intensidade luminosa foram determinados para uma densidade de fluxo de fótons (PPDF) de 0 e de 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ com a câmara foliar ajustada para trabalhar com concentração de CO_2 , temperatura e vapor de H_2O em torno de 380 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, 31 ± 1 °C e 21 ± 1 mmol mol^{-1} , respectivamente. A respiração no escuro (R_d) foi determinada após uma adaptação de 15 minutos. Além disso, foram calculadas a fotorrespiração (P_r), como sendo a metade da taxa de oxigenação (V_o), que por sua vez, foi calculada de acordo com Sharkey (1988); a taxa de carboxilação (V_c) e a taxa transportadora de elétrons (J), conforme Farquhar & von Caemmerer (1982); a eficiência do uso da água (EUA) e a eficiência intrínseca do uso da água ($EIUA$), calculados por meio das razões A/E e A/g_s , respectivamente.

2.3. Determinação da fluorescência da clorofila a

As análises das variáveis da fluorescência da clorofila a : fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m) e Fluorescência variável (F_v), foram obtidas utilizando-se um

fluorômetro de pulso modulado (modelo OS5-FL, Opti-Sciences) e calculado as variáveis de F_v/F_m e F_v/F_o (van Kooten & Snell, 1990). As determinações foram realizadas entre 8:00 e 11:00 horas da manhã em folhas completamente expandidas, em bom estado fitossanitário e situadas no terço médio da planta. Foram escolhidas três folhas de cada indivíduo para compor a repetição. As folhas foram adaptadas ao escuro por um período de 20 minutos utilizando cliques apropriados e, em seguida, foi iluminada a região sombreada da folha com luz vermelho distante por aproximadamente 3 segundos, visando garantir a redução do centro de reação do PS II, medindo então a fluorescência inicial (F_o). Um pulso saturante de radiação foi aplicado para se obter a fluorescência máxima (F_m). A luz de modulação foi ajustada para 140; a intensidade do vermelho distante para 120; a intensidade da luz saturante para 200, com duração de 0,8 segundos. A eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m), bem como a razão F_v/F_o , foram calculados conforme Maxwell & Johnson (2000) e Genty *et al.*, (1989).

2.4. Análise estatística

Para as análises estatísticas dos dados obtidos foram feitas análises de variância (ANOVA) em esquema fatorial e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Para tanto, utilizou-se os programas estatísticos SAEG (8.X, UFV-MG) e o JMP (4.0, SAS Institute Inc., Cary, NC).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Trocas gasosas

Os valores das taxa de fotossíntese líquida (A), comparando-se os diferentes tratamentos, revelaram que, *V. japurensis* exibiu os maiores valores quando aplicado o tratamento P+Cal+G (Tabela 1). Adicionalmente, verificou-se que os tratamentos P+Cal e P também foram afetados no favorecimento do ganho de carbono quando comparados com o tratamento controle. Por outro lado, tanto para *B. grossularioides* quanto para *L. procera*, observou-se inversão na ordem de efetividade dos tratamentos, onde os maiores valores foram observados no tratamento P+Cal, seguido do tratamento P+Cal+G sempre comparados com o tratamento controle. No entanto, não foi observada diferença entre os tratamentos P e controle para *L. procera*. Na comparação entre as espécies, é relevante destacar que *B. grossularioides* apresentou os maiores valores para as taxas de A nos tratamentos controle e P+Cal. *V. japurensis* exibiu maiores valores de A para os tratamentos P e P+Cal+G.

Tabela 1: Fotossíntese líquida (A), taxa de respiração (R_d) e taxa transportadora de elétrons (J) de espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez do solo e adubação fosfatada.

Parâmetro	Tratamento	<i>V. japurensis</i>	<i>B. grossularioides</i>	<i>L. procera</i>
A ($\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	controle	9,4 \pm 1,1 Db	11,3 \pm 1,4 Da	8,6 \pm 1,0 Cc
	P	13,4 \pm 1,0 Ca	12,5 \pm 0,5 Cb	8,9 \pm 0,9 Cc
	P+Cal	14,3 \pm 0,5 Bb	20,4 \pm 0,8 Aa	14,1 \pm 0,9 Ab
	P+Cal+G	18,7 \pm 0,4 Aa	15,6 \pm 0,9 Bb	12,5 \pm 0,5 Bc
R_d ($\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	controle	1,7 \pm 0,5 Ab	2,0 \pm 0,7 Ba	2,3 \pm 0,4 Aa
	P	1,5 \pm 0,1 Ab	2,2 \pm 0,6 ABa	2,1 \pm 1,0 ABa
	P+Cal	1,7 \pm 0,3 Ab	2,6 \pm 1,1 Aa	1,8 \pm 0,6 Bcb
	P+Cal+G	1,7 \pm 0,7 Aa	1,9 \pm 0,6 Ba	1,5 \pm 0,6 Ca
J ($\mu\text{mol}(\text{e}^-) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	controle	64,9 \pm 4,5 Db	77,4 \pm 12 Da	65,1 \pm 9,8 Cb
	P	88,2 \pm 5,9 Ca	83,4 \pm 8,2 Cab	71,0 \pm 14,7 Cb
	P+Cal	93,3 \pm 4,2 Bb	134,4 \pm 2,5 Aa	94,0 \pm 5,1 Ab
	P+Cal+G	119,5 \pm 5,5 Aa	102,0 \pm 6,0 Bb	80,2 \pm 4,5 Bc

Os valores são médias \pm desvios padrão. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical, para os tratamentos e minúscula na horizontal, para as espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% (n=3).

Quanto aos valores da taxa de respiração (R_d), verificou-se não haver diferença entre os tratamentos para *V. japurensis* (Tabela 1). Contudo, para a espécie *B.*

grossularioides, observou-se maiores valores nos tratamentos P e P+Cal, porém, somente diferiram do tratamento P+Cal+G. Para *L. procera*, os maiores valores foram observados no tratamento controle, sendo 31% e 55% superiores aos menores valores observados nos tratamentos P+Cal e P+Cal+G, respectivamente. Para os resultados da taxa de R_d entre espécies, observou-se que *B. grossularioides* apresentou os maiores valores em quase todos os tratamentos, quando comparada com *V. japurensis*, exceto para o tratamento P+Cal+G que não diferiu para as três espécies estudadas. Observou-se, ainda, que *L. procera*, apresentou maiores valores para os tratamentos controle e para o tratamento com P, quando comparada com *V. japurensis*, não diferindo no tratamento P+Cal. Quanto aos resultados da taxa transportadora de elétrons (J), comparando-se os tratamentos, verificou-se que, para *V. japurensis*, os maiores valores foram observados no tratamento P+Cal+G seguido dos tratamentos P+Cal, P e controle (Tabela 1). Para *B. grossularioides*, os maiores e os menores valores foram observados nos tratamentos P+Cal e controle. Verificou-se, ainda, que, para *L. procera*, maiores valores foram observados no tratamento P+Cal, seguido do tratamento P+Cal+G. Os tratamentos P e controle não diferiram entre si. Com relação às diferenças das taxas de J entre as espécies, verificou-se que os maiores valores foram observados para *V. japurensis* nos tratamentos P e P+Cal+G. Contudo, para *B. grossularioides* os maiores valores foram observados nos tratamentos controle e P+Cal. *L. procera* foi a espécie que apresentou os menores valores na maioria dos tratamentos.

A partir destes resultados é possível relacionar o potencial de incorporação do carbono com o desempenho dessas espécies no campo, sabendo-se que o crescimento e o desenvolvimento das plantas, de modo geral, são fortemente determinados pela capacidade das mesmas absorverem a luz solar e utilizá-la na redução de NADPH e de ATP. Essas moléculas, por sua vez, participam de várias rotas bioquímicas que resultam no aumento da incorporação de biomassa, além da produção de vários outros produtos metabólicos (Ackerly & Bazzaz, 1995; Hirose & Bazzaz, 1998). Por outro lado, o processo fotoquímico, também, é dependente de outras condições abióticas favoráveis como a disponibilidade de água e nutrientes. Neste sentido, a melhoria da condição edáfica imposta pelos tratamentos, foram fundamentais para o aumento das taxas fotossintéticas das espécies crescendo nas áreas de pastagens degradadas. Além disso, verificou-se que, entre as espécies, *B. grossularioides* apresentou as maiores taxas fotossintéticas nos tratamentos adubados, provavelmente, pelos maiores teores foliares de N observados para essa espécie (Capítulo I). Desta forma, mesmo que as plantas, de modo geral, tenham exibido baixas taxas respiratórias, é sabido que a participação do processo respiratório para

a economia geral de carbono nas plantas tem sido associada ao componente de perda de carbono, uma vez que, grande concentração dos assimilados produzidos na fotossíntese são utilizados pela respiração e somente parte deste carbono é utilizado na produção de biomassa (Salisbury & Ross, 1992; Lambers *et al.*, 1998; Dünisch *et al.*, 2002). Contudo, como a fotossíntese, a respiração é influenciada por condições relevantes, que incluem os diferentes mecanismos das espécies até os fatores ambientais, com destaque para o suprimento de água, disponibilidade de nutrientes e a temperatura (Lamber *et al.*, 1998). Portanto, as altas taxas de R_d observadas para *B. grossularioides* no tratamento P+Cal, pode ter sido influenciada pelas maiores taxas de fotossíntese líquida, devido à necessidade de uma maior quantidade de energia para o metabolismo e translocação dos produtos fotoassimilados (Demmig-Adams & Adams, 1992; Noguchi *et al.*, 2001). Entretanto, verificou-se situação inversa para *L. procera* que, apesar da melhoria do ambiente edáfico nos tratamentos P+Cal e de um aumento na taxa de A para essa espécie nesse ambiente, apresentou respostas inferiores da taxa de R_d em relação ao tratamento controle. Elevados valores da taxa transportadora de elétrons, de modo geral, estão associados à alta eficiência no funcionamento do aparato fotossintético, haja vista que esses valores representam, em grande parte, a capacidade das plantas de utilizarem a energia capturada pelos centros de reações dos fotossistemas e, posteriormente, transformá-la em energia química, consubstanciando a produção de fotoassimilados (Allen, 2002; Lawson *et al.*, 2002). Portanto, os altos valores observados para essa variável, refletem as maiores taxas de A encontrada para as espécies *V. japurensis* no tratamento (P+Cal+G) e para *B. grossularioides* no tratamento (P+Cal) comparados com *L. procera*.

Quanto aos resultados da fotorrespiração (P_r) e da taxa de oxigenação (V_o), comparando-se os diferentes tratamentos, observou-se que, para *V. japurensis*, os maiores e os menores valores foram observados nos tratamento P+Cal+G e controle, respectivamente (Tabela 2). Para *B. grossularioides*, os maiores valores foram observados no tratamento P+Cal, seguido do tratamento P+Cal+G, e os menores valores para os tratamentos controle e P que não diferiram entre si. Com relação *L. procera*, os maiores valores foram observados para o tratamento P+Cal. No entanto, o tratamento P+Cal não diferiu do tratamento controle; o tratamento P+Cal+G não diferiu dos tratamentos controle e P. Entre as espécies, verificou-se que, no tratamento controle, *L. procera*, diferiu somente da *V. japurensis*, enquanto que, no tratamento P, os maiores valores foram observados para *V. japurensis* seguida da *B. grossularioides* e *L. procera*. Já no tratamento P+Cal, os maiores valores foram observados para *B. grossularioides* seguida da *L. procera* e *V.*

japurensis. No entanto, no tratamento P+Cal+G, os maiores valores foram observados para *V. japurensis*, seguida da *B. grossularioides* e *L. procera*. Com relação à taxa de carboxilação (V_c), comparando-se os diferentes tratamentos, verificou-se que, para *V. japurensis*, os maiores e os menores valores foram observados para os tratamentos P+Cal+G e controle (Tabela 2). Contudo, para *B. grossularioides*, os maiores e os menores valores foram observados para os tratamentos P+Cal e controle. Já para *L. procera*, os maiores valores foram observados no tratamento P+Cal, seguido do tratamento P+Cal+G, enquanto que os tratamentos controle e P não apresentaram diferença. Entre as espécies, verificou-se que para a taxa de carboxilação, no tratamento controle, os maiores valores foram observados para *B. grossularioides*, sendo que as outras espécies não apresentaram diferenças entre si. No tratamento P, não se observou diferença entre *V. japurensis* e *B. grossularioides*, porém ambas diferiram da *L. procera*. Já no tratamento P+Cal, os maiores valores foram observados para a *B. grossularioides*, sendo que *V. japurensis* e *L. procera* não diferiram entre si. No entanto, no tratamento P+Cal+G, os maiores valores foram observados para *V. japurensis*, seguida da *B. grossularioides* e *L. procera*.

Tabela 2: Fotorrespiração (P_r), taxa de oxigenação (V_o) e taxa de carboxilação (V_c) de espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez do solo e adubação fosfatada.

Parâmetro	Tratamento	<i>V. japurensis</i>	<i>B. grossularioides</i>	<i>L. procera</i>
P_r ($\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	controle	1,7 ± 0,1 Cb	2,0 ± 0,4 Cab	2,3 ± 0,9 ABa
	P	2,4 ± 0,2 Ba	2,1 ± 0,5 Cb	1,8 ± 0,2 Cc
	P+Cal	2,4 ± 0,1 Bc	3,5 ± 0,1 Aa	2,5 ± 0,1 Ab
	P+Cal+G	3,1 ± 0,1 Aa	2,7 ± 0,1 Bb	2,0 ± 0,1 BCc
V_o ($\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	controle	3,4 ± 0,2 Cb	4,0 ± 0,7 Cab	4,6 ± 1,8 ABa
	P	4,8 ± 0,4 Ba	4,1 ± 0,9 Cb	3,5 ± 0,4 Cc
	P+Cal	4,9 ± 0,2 Bc	7,1 ± 0,1 Aa	5,1 ± 0,3 Ab
	P+Cal+G	6,3 ± 0,3 Aa	5,4 ± 0,3 Bb	4,1 ± 0,2 BCc
V_c ($\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	controle	12,8 ± 0,9 Db	15,3 ± 2,2 Da	13,2 ± 1,9 Cb
	P	17,3 ± 1,1 Ca	16,7 ± 1,2 Ca	12,7 ± 2,1 Cb
	P+Cal	18,4 ± 0,9 Bb	26,5 ± 0,5 Aa	18,4 ± 1,0 Ab
	P+Cal+G	23,6 ± 1,1 Aa	20,1 ± 1,2 Bb	16,0 ± 1,0 Bc

Os valores são médias ± desvios padrão. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical, para os tratamentos e minúscula na horizontal, para as espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% (n=3).

O metabolismo do carbono nas folhas reflete o balanço integrado entre dois ciclos, mutuamente, opostos e interligados, pois, tanto o CO_2 quanto o O_2 competem pela reação com a RuBP (Ribulose 1,5 Carboxilase Oxigenase), uma vez que, a carboxilação e a

oxigenação ocorrem no mesmo sítio ativo da enzima (Wingler *et al.*, 2000). Nesse particular, a fotorrespiração é assim denominada em função da atividade de oxigenação, assim como a carboxilação, ocorrer na presença de luz (Spreitzer & Salvucci, 2002). Numa tentativa de diminuir a perda excessiva de água sob altas temperaturas, as plantas diminuem a abertura estomática e a rubisco passa a atuar como oxigenase em decorrência da redução da concentração de CO₂, o que de fato, proporciona uma redução de 50 % na eficiência da fixação fotossintética do carbono. Portanto, as maiores taxas de fotorrespiração, bem como, as maiores taxas de oxigenação observadas nas diferentes espécies estudadas, em especial, nos tratamentos com correção da acidez e aplicação de fosfato, podem significar que importante quantidade do carbono assimilado pela fotossíntese deve estar sendo perdida na fotorrespiração, não resultando em acúmulo de biomassa, haja vista que este processo responde pela perda de 25 % da taxa de carboxilação (Wingler *et al.* 2000). No entanto, em regiões tropicais, o processo de fotorrespiração não é tido como processo danoso, pelo contrário, tem relevante importância, uma vez que pode servir para a síntese de aminoácidos a partir da transaminação de glicina e da serina que, por sua vez, seriam úteis para as plantas reagirem ao estresse por altas irradiâncias e altas temperaturas (Lorimer & Andrews, 1981; Novitskaya *et al.*, 2002). A taxa de carboxilação (V_c) está envolvida com o desempenho do aparato fotossintético na aquisição de CO₂. Essa variável é fortemente dependente da atividade da Rubisco na utilização de CO₂ pelo processo fotossintético. Porém, é sabido que existe uma alta competitividade de sítio tanto do CO₂ quanto do O₂ pela reação com a RuBP. Contudo, a lenta taxa catalítica, a baixa afinidade pelo CO₂ atmosférico e o uso de O₂ como substrato alternativo competindo pelo processo da fotorrespiração, juntos fazem a rubisco notoriamente ineficiente como enzima inicial fixadora de CO₂ da fotossíntese (Spreitzer & Salvucci, 2002). Portanto, os maiores valores da V_c observados para *B. grossularioides*, no tratamento P+Cal podem significar que, sob essas condições, as plantas situadas naqueles sítios apresentam-se mais eficientes na utilização do CO₂ pelo processo fotossintético e, conseqüentemente, refletir em maior acúmulo de biomassa.

Analisando-se os resultados da condutância estomática (g_s) e da taxa de transpiração (E), verificou-se que, na comparação entre os tratamentos para a espécie *V. japurensis*, os maiores e os menores valores foram observados nos tratamentos P+Cal+G e controle (Tabela 3). No entanto, observou-se que, tanto para *B. grossularioides* quanto para *L. procera*, os maiores valores foram observados no tratamento P+Cal. Por sua vez, os resultados das comparações entre as espécies demonstraram que *V. japurensis* apresentou

os maiores valores da condutância estomática nos tratamentos P e P+Cal+G comparado com as demais espécies. Adicionalmente, verificou-se que *B. grossularioides* exibiu maiores valores no tratamento P+Cal quando comparada com *V. japurensis* e *L. procera*, que não diferiram entre si. Os menores valores observados para *L. procera* no tratamento controle, foram 13 e 9 vezes inferiores aos maiores valores observados para *B. grossularioides* e para *V. japurensis* nos tratamentos P+Cal e P+Cal+G, respectivamente. Com relação à taxa de g_s , comparando-se as diferentes espécies, notou-se que *V. japurensis*, à semelhança dos valores da taxa de E , foi a espécie que apresentou os maiores valores nos tratamentos P e P+Cal+G comparada com as demais espécies. Também é importante ressaltar que *B. grossularioides* apresentou maiores valores no tratamento P+Cal. Contudo, verificou-se que *L. procera*, no tratamento controle, foi a espécie que apresentou os menores valores da taxa E , sendo quase quatro vezes inferiores aos maiores valores observados para *B. grossularioides*.

Tabela 3: Condutância estomática (g_s), taxa de transpiração (E), eficiência no uso da água (EUA) e eficiência intrínseca do uso da água ($EIUA$) de espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez do solo e adubação fosfatada.

Parâmetro	Tratamento	<i>V. japurensis</i>	<i>B. grossularioides</i>	<i>L. procera</i>
g_s (mmol(H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹)	controle	38,2 ± 4,6 Cb	48,2 ± 14 Ba	11,8 ± 2,1 Dc
	P	53,9 ± 11 Ba	41,6 ± 12 Bb	29,6 ± 7,2 Cc
	P+Cal	50,8 ± 4,9 Bb	157,4 ± 28 Aa	59,1 ± 17 Ab
	P+Cal+G	106,2 ± 6,6 Aa	44,5 ± 6,5 Bb	46,8 ± 3,8 Bb
E (mmol(H ₂ O) m ⁻² s ⁻¹)	controle	4,0 ± 1,4 Ca	4,5 ± 0,8 Ba	1,9 ± 0,5 Cb
	P	5,3 ± 0,9 Ba	3,4 ± 0,7 Cb	3,4 ± 0,6 Bb
	P+Cal	4,4 ± 1,1 BCb	7,1 ± 0,9 Aa	4,9 ± 1,3 Ab
	P+Cal+G	6,6 ± 1,6 Aa	4,7 ± 0,5 Bb	3,3 ± 0,3 Bc
EUA (mmol(CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)	controle	2,8 ± 1,3 Bb	2,6 ± 0,4 Cb	5,0 ± 1,7 Aa
	P	2,6 ± 0,4 Bb	3,9 ± 0,9 Aa	2,6 ± 0,4 Cb
	P+Cal	3,4 ± 0,9 Aa	2,9 ± 0,5 BCa	3,1 ± 1,0 BCa
	P+Cal+G	3,0 ± 0,8 ABb	3,3 ± 0,2 Bb	3,8 ± 0,4 ABa
$EIUA$ (mmol(CO ₂) m ⁻² s ⁻¹)	controle	25,0 ± 5,0 Bb	24,7 ± 5,3 Bb	74,1 ± 9,2 Aa
	P	26,1 ± 6,8 ABb	32,8 ± 10 Aa	31,6 ± 7,2 Ba
	P+Cal	28,5 ± 3,2 Aa	13,4 ± 2,6 Cb	25,8 ± 7,4 Ca
	P+Cal+G	17,7 ± 0,9 Cc	35,4 ± 3,7 Aa	26,9 ± 2,8 BCb

Os valores são médias ± desvios padrão. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical, para os tratamentos e minúscula na horizontal, para as espécies, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% (n=3).

As taxas fotossintéticas são altamente relacionadas com a taxa da condutância estomática, uma vez que, para absorver CO₂ do meio externo, as plantas perdem água e, para diminuir estas perdas, restringem a entrada de CO₂ para a interior das folhas (Buckley

et al., 1999; Lawlor, 2002). Foi isto que, de fato, demonstraram os valores observados para as variáveis A , g_s e E para as três espécies estudadas localizadas nas áreas com correção da acidez do solo e aplicação de adubo fosfatado. De modo geral, o gradiente de concentração que governa a perda de água pela planta é cerca de 50 vezes maior do que aquele que administra o influxo de CO_2 (Taiz & Zeiger, 2004). Portanto, a espécie *L. procera*, mesmo apresentando alto valor da taxa de g_s nos sítios dos tratamentos submetidos às melhorias das condições edáficas, exibiu valores de g_s da ordem de 166 e 80 % menores do que aqueles observados para *B. grossularioides* no tratamento P+Cal e para *V. jaturensis* no tratamento P+Cal+G, respectivamente. Esse fato ilustra que, apesar das taxas de A estarem, fortemente, ligados às taxas de g_s , os resultados mostram que a fotossíntese, para *L. procera* em particular, foi limitada pela disponibilidade de água, o que pode ser constatada pelos baixos valores do potencial hídrico foliar (Capítulo I), observados para essa espécie, uma vez que, para evitar a perda excessiva de água, as plantas, de modo geral, reduzem, consideravelmente, a taxa fotossintética (Giorio *et al.*, 1999). A transpiração foliar é a resultante da difusão do vapor d'água através do poro estomático. Assim, os altos valores das taxas de E observadas para as espécies *V. jaturensis* e *B. grossularioides*, comparadas com *L. procera*, para quase todos os tratamentos, sugerem que a abertura dos estômatos não foi regulada pela falta de água nessas plantas, o que de certa forma indica que estas espécies possuem alta eficiência na absorção de água do solo nas áreas degradadas em estudo.

A variável eficiência no uso da água (*EUA*) revelou que, *V. jaturensis*, quando submetida aos diferentes tratamentos, exibiu os maiores valores de *EUA* nos tratamentos com P+Cal e P+Cal+G, comparada com os tratamentos controle e P (Tabela 3). Já para *B. grossularioides*, os maiores e os menores valores foram observados nos tratamentos P e controle. No entanto, para *L. procera*, os maiores valores foram observados no tratamento controle. Entre as espécies, verificou-se que *L. procera* apresentou os maiores valores nos tratamentos controle e P+Cal+G, comparada com as demais espécies. No tratamento P+Cal, não se observou diferença entre as espécies, contudo, *B. grossularioides* apresentou os maiores valores no tratamento P comparado com as demais espécies. Quanto aos resultados da eficiência intrínseca do uso da água (*EIUA*), comparando-se os diferentes tratamentos, verificou-se que, para *V. jaturensis*, os maiores valores foram observados nos tratamentos P e P+Cal. Porém, para *B. grossularioides*, os maiores valores foram observados nos tratamentos P e P+Cal+G. Já para *L. procera*, os maiores valores foram observados nos tratamentos controle e os menores nos tratamentos P+Cal e P+Cal+G.

Analisando-se os resultados das comparações entre as espécies, verificou-se que, no tratamento controle, os maiores valores foram observados para *L. procera* comparados com os valores obtidos para *V. japurensis* e para *B. grossularioides*, que por sua vez, apresentou os maiores valores no tratamento P+Cal+G. Os menores valores observados para *B. grossularioides* no tratamento P+Cal foram cerca de 6 vezes inferiores aos maiores valores observados para *L. procera* no tratamento controle.

A eficiência no uso da água é fortemente influenciada pelo comportamento estomático e seu valor pode aumentar, já que o controle dos estômatos inibe mais a transpiração do que as concentrações intercelulares de CO₂ (Mott & Buckley, 1998). Geralmente, altos valores de *EUA* são observados em plantas com baixa taxa fotossintética, pelo fato de que, essa variável está associada à menor abertura dos estômatos para evitar a perda excessiva de água, o que de certa forma, limita a assimilação de carbono (Buckley *et al.*, 1999; Giorio *et al.*, 1999; Prado *et al.*, 2004). Portanto, os baixos valores da taxa fotossintética observados para *L. procera* no tratamento controle podem ser reflexo da tentativa das plantas de evitar a perda de água no processo de assimilação de carbono. Contudo, esse tipo de abordagem, segundo Jones (1993), é mais propício para indicar a eficiência do uso da água por espécies localizadas em ambientes onde a disponibilidade de água é limitada. Os estômatos influenciam o balanço carbono-água por meio da troca entre a absorção de CO₂ e a perda de água pela transpiração. Assim, um padrão ótimo do comportamento estomático tende a maximizar a fotossíntese, enquanto minimiza a perda de água pela transpiração (Buckley *et al.*, 1999). Portanto, as plantas que conseguem manter altas taxas fotossintéticas associadas à baixa condutância estomática para evitar essa perda de água são consideradas mais tolerantes à baixa disponibilidade hídrica (Osmond *et al.*, 1980). Nesse sentido, analisando cuidadosamente os resultados obtidos, verificou-se que as plantas de *B. grossularioides* submetidas ao tratamento P+Cal+G apresentaram os maiores valores para *EIUA* dentre as espécies estudadas e a partir dos diferentes tratamentos aplicados, bem como, valores relativamente baixos de *g_s* e *E*, associados a uma taxa fotossintética moderada. Esses fatos por si confirmam o melhor desempenho dessa espécie frente às demais espécies estudadas e que, provavelmente, a principal estratégia estabelecida pela espécie *B. grossularioides* para incorporar biomassa passa por uma melhor regulação estomática.

3.2. Fluorescência da clorofila *a*

Os resultados obtidos da comparação entre os tratamentos revelaram que, tanto para *V. japurensis* quanto para *L. procera*, os valores de F_o não foram diferentes entre os tratamentos (Figura 1). No entanto, observou-se que o tratamento P+Cal+G para *B. grossularioides*, apresentou maiores valores comparados com os demais tratamentos. Comparando-se as diferentes espécies, verificou-se que *V. japurensis* foi a espécie que apresentou os menores valores de F_o em todos os tratamentos.

Normalmente, elevados valores de F_o estão associados, em particular, à inibição do fluxo de elétrons entre as quinonas A (Q_A) e B (Q_B), o que pode significar decréscimo na capacidade quântica aparente em função da redução desse fluxo (Oliveira *et al.*, 2002). Vários autores relacionam o aumento nos valores de fluorescência inicial a danos, muitas vezes irreversíveis, causados sobre o centro de reação do fotossistema II, bem como, a mudanças estruturais sobre a membrana dos tilacóides (Krause & Weis, 1984; Horton *et al.*, 1994; Costa *et al.*, 2002). Assim, os menores valores de F_o observados para *V. japurensis*, comparada com as demais espécies, podem representar uma maior eficiência na utilização da energia proveniente da absorção de fótons no centro de reação do fotossistema II.

Com relação às variáveis F_v e F_m , comparando-se os tratamentos, verificou-se que os menores valores foram observados no tratamento controle para as três espécies estudadas. Os maiores valores foram observados no tratamento P+Cal, tanto para *V. japurensis* quanto para *L. procera*, enquanto que, para *B. grossularioides*, os maiores valores foram observados no tratamento P. Quanto à comparação das variáveis da fluorescência da clorofila *a* entre as espécies, verificou-se que, para a variável F_v , *L. procera* apresentou os menores valores em quase todos os tratamentos, com exceção do tratamento P+Cal, no qual não diferiu da *B. grossularioides* (Figura 1). Nos tratamentos controle e P, *B. grossularioides* não diferiu da *V. japurensis*. Contudo, *V. japurensis* foi a espécie que apresentou os maiores valores nos tratamentos P+Cal e P+Cal+G, comparados com as demais espécies. Comportamento semelhante aos descritos anteriormente para as espécies nos diferentes tratamentos foi também observado para a variável F_m .

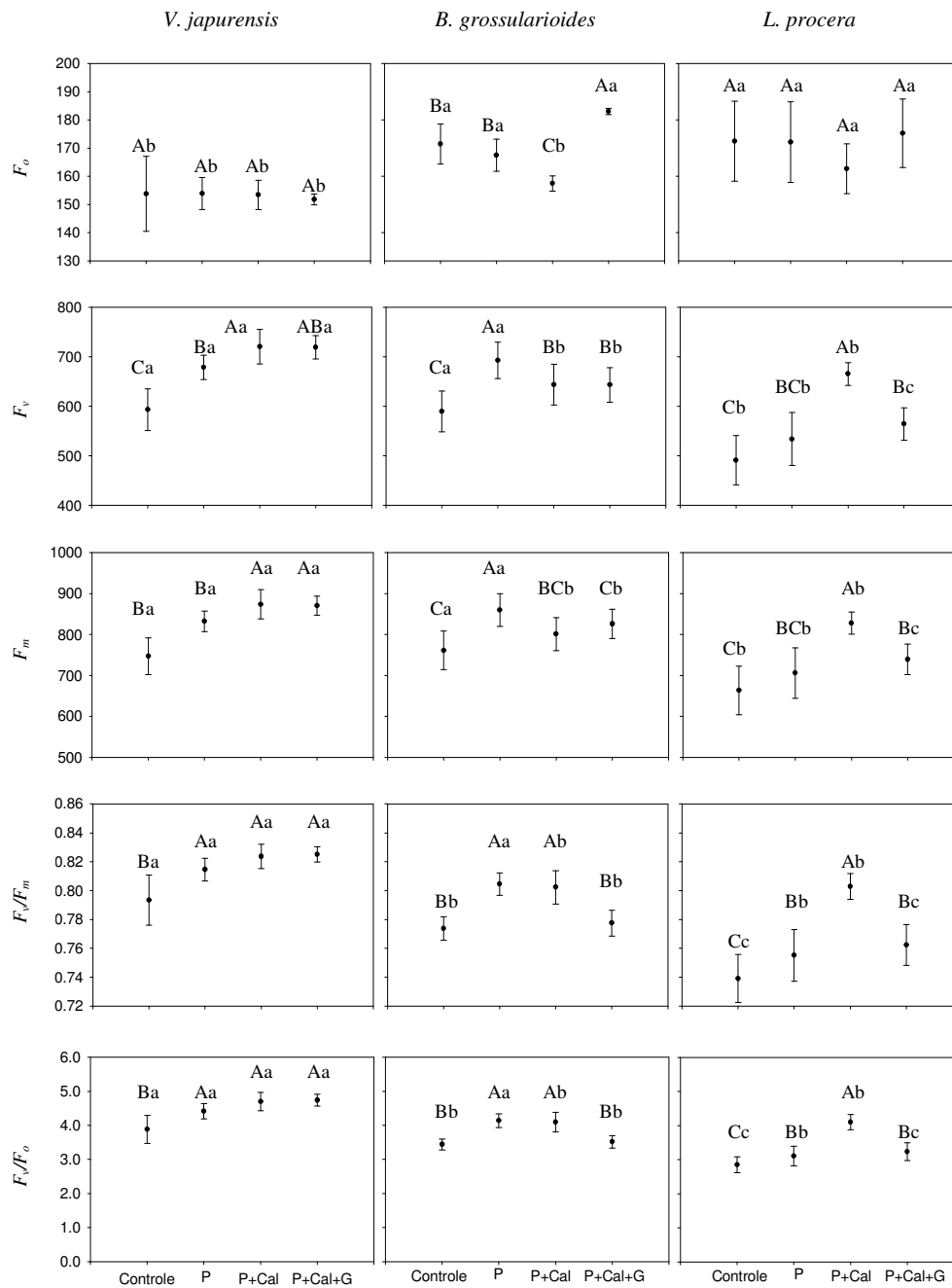


Figura 12: Parâmetros da fluorescência da clorofila *a* de três espécies pioneiras, submetidas a diferentes tratamentos de correção da acidez e adubação fosfatada.

Os valores são médias e as linhas verticais são desvios padrão. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal para os tratamentos e da mesma letra minúscula para as espécies na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% (n=3). F_o = fluorescência inicial, F_m = fluorescência máxima, F_v = fluorescência variável e razões F_v/F_m e F_v/F_o .

Esses resultados indicam que grande parte da energia absorvida pelas espécies *B. grossularioides* e *L. procera*, nos tratamentos controle, P e P+Cal+G, pode estar sendo dissipada na forma de calor e/ou por processos não fotoquímicos, uma vez que, essas espécies apresentaram elevados valores de F_o e reduzidos valores de F_v e F_m comparados com *V. japurensis* nos mesmos tratamentos. Além disso, os maiores valores de F_v e F_m observados para *V. japurensis* nos tratamentos P+Cal e P+Cal+G, comparados com os tratamentos controle e P, sugerem que essa espécie, provavelmente, está utilizando a energia absorvida de maneira mais eficiente, uma vez que, os valores de F_o não diferiram entre os tratamentos.

Analisando-se os valores da razão F_v/F_m entre os tratamentos, observou-se que para *V. japurensis*, o tratamento controle apresentou os menores valores diferenciando dos demais tratamentos. Adicionalmente, verificou-se que, para *B. grossularioides*, os menores valores foram observados nos tratamentos P+Cal+G e controle. Já para *L. procera*, os maiores e menores valores de F_v/F_m foram observados nos tratamentos P+Cal e controle, respectivamente. Por outro lado, comparando-se os valores entre as espécies, verificou-se que *L. procera* apresentou os menores valores em todos os tratamentos quando comparada com *V. japurensis*. Porém, somente no tratamento P+Cal *L. procera* não diferiu da *B. grossularioides*. Adicionalmente, verificou-se que *V. japurensis* não diferiu da *B. grossularioides* no tratamento somente com adubação fosfatada.

Admite-se que a razão F_v/F_m expressa a eficiência de absorção da energia de excitação pelos centros de reação abertos do fotossistema II, o que, de modo geral, representa a eficiência fotoquímica do transporte de elétrons através do fotossistema II (Schreiber *et al.*, 1994; Waldhoff *et al.*, 2002). Além do mais, folhas não estressadas exibem valores da razão F_v/F_m próximos a 0,8 e que, valores abaixo desse patamar, em geral, podem estar relacionados a danos estruturais no fotossistema II (Bolhàr-Nordenkamp & Götzl, 1992). Por outro lado, valores acima de 0,80 são indicativos da ausência de estresse em muitas plantas (Krause & Weis, 1991; Thomas & Turner, 2001). Assim, os baixos valores de F_v/F_m observados no tratamento controle para as três espécies estudadas, bem como, para *B. grossularioides* submetidas ao tratamento P+Cal+G e para *L. procera* sob tratamentos com P e também P+Cal+G, podem ser indicativos das plantas localizadas nesse sítio estarem sofrendo algum tipo de estresse. Contudo, vale ressaltar que *V. japurensis*, nos tratamentos P+Cal e P+Cal+G, parece ser a única espécie que, potencialmente, não está sofrendo algum tipo de fotoinibição, uma vez que seus valores de

F_v/F_m foram acima de 0,8 sendo 11 e 12 % a superiores aos valores observados para *L. procera* no tratamento controle considerada mais estressada.

A razão F_v/F_o tem sido utilizada como bom indicativo para verificar o estresse causado em plantas sob baixa disponibilidade hídrica (Oliveira *et al.*, 2002). Do mesmo modo, essa variável também tem sido utilizada para estimar o rendimento quântico aparente da taxa fotossintética e que baixos valores dessa variável estão associados a uma sensível eficiência do fotossistema II em plantas sob condições de estresse. Isso porque, essa variável é considerada um indicativo mais sensível às variações nas taxas de conversão fotossintética que a razão F_v/F_m , por responder mais sensivelmente a qualquer variação em F_o e/ou em F_v (Babani & Lichtenthaler, 1996). Portanto, os resultados revelaram que, tanto *V. japurensis* quanto *B. grossularioides* e *L. procera* do tratamento controle, bem como, *B. grossularioides* do tratamento P+Cal+G e *L. procera* nos tratamentos P e P+Cal+G, sofreram algum tipo de fotoinibição, haja vista, que seus respectivos valores de F_v/F_o foram inferiores a 4,0. Dentre as espécies com baixos valores de F_v/F_o , *L. procera*, localizada no tratamento controle, foi 36 % menor comparada com *V. japurensis* do tratamento controle, indicando ser a espécie sob maior efeito de fotoinibição. Como os valores de F_v/F_o para *V. japurensis*, do tratamento P foi superior a 4,0, parte da fotoinibição que esta espécie possa estar sofrendo pode-se relacionar com baixos valores de nutrientes como Zn e Cu (Capítulo I), elementos que têm destacadas participações no melhor funcionamento do aparato fotossintético.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- De maneira geral, se evidenciou maior efeito da aplicação do corretivo da acidez do solo no melhor desempenho fotossintético das três espécies estudadas.
- Plantas de *V. japurensis*, submetidas ao tratamento P+Cal+G, comportaram-se de maneira mais eficiente no que concerne à utilização da energia luminosa.
- Plantas de *B. grossularioides*, no tratamento com P+Cal, mesmo apresentando as maiores taxas fotossintéticas, exibiram valores intermediários para a razão F_v/F_m , indicando grande dissipação de energia, sugerindo, assim, certo grau de ineficiência do aparato fotossintético quando comparada com *V. japurensis*.
- Plantas de *L. procera* mostraram-se menos eficientes na captação e utilização de energia luminosa envolvida no processo de acúmulo de biomassa, em relação a *Vismia japurensis* e *Bellucia grossularioides*.
- Plantas de *B. grossularioides* mostraram-se mais eficiente no uso da água, sugerindo que a regulação estomática é uma importante estratégia dessa espécie no acúmulo de biomassa.

III. CONCLUSÕES

- Entre as espécies que compõem a sucessão secundária, conclui-se que existem diferenças fisiológicas marcantes no que diz respeito à utilização dos recursos primários como luz, água e nutrientes, com destaque para a influência da maior oferta de Ca e Mg na maior performance das espécies quando crescidas sobre áreas de pastagens abandonadas.
- Além disso, verificou-se que dentre as três espécies estudadas, *L. procera* se mostrou menos eficiente na captação e utilização dos recursos primários, ao contrário do comportamento da *V. japurensis*, considerada mais eficiente, o que explica a dominância dessa espécie na composição da vegetação emergente nessas áreas degradadas.
- De modo isolado, o nutriente fósforo, apesar de limitante nessas áreas abandonadas, parece não ser tão decisivo para o sucesso do estabelecimento dessas espécies, porém, quando associado a corretivos da acidez do solo, observou-se respostas significativas aos parâmetros de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*.

IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackerly, D.D.; Bazzaz, F.A. 1995. Leaf dynamics, self-shading and carbon gain in seedlings of a tropical pioneer tree. *Oecologia*, 101:289-98.
- Abreu, C.A.; Novais, R.F.; Raij, B. van; Ribeiro, A.C. 1994. Comparação de métodos para avaliar a disponibilidade do manganês em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 18:81-90.
- Adams, M.L.; Philpot, W.D.; Norvell, W.A. 1999. Yellowness index: An application of spectral second derivatives to estimate chlorosis of leaves in stressed vegetation. *Int. J. Remote Sens.* 20:3663–3675.
- Aide, M.T.; Zimmerman, J.K.; Herrera, L.; Rosário, M. 1995. Forest recovery in abandoned tropical pasture in Puerto Rico. *For. Ecol. Manage.*, 77:77-86.
- Albuquerque, J.A.; Bayer, C.; Ermani, P. R.; Mafra, A.L.; Fontana, E.C. 2003. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:799-806.
- Allen, J.F.; Pfannschmidt, T. 2000. Balancing the two photosystems: photosynthetic electron transfer governs transcription of reaction centre genes in chloroplasts. *Phil. Trans. Roy. Soc. B.*, 1402:1351-1359.
- Allen, J.L. 2002. Photosynthesis of ATP-Electrons, Proton Pumps, Rotors, and Poise. *Cell*, 110:273–276.
- Alves, D.S. 2001. O processo de desmatamento na Amazônia. In: *Modelos e cenários para a Amazônia: o papel da ciência*. Parcerias Estratégicas. nº 12. p.259-275.
- Amthor, J.S. 1995. Higher plant respiration and relationships to photosynthesis. In: Schulze, E.D.; Caldwell, M.M. (Eds.). *Ecophysiology of Photosynthesis*. Springer-Verlag, Berlin, p.71-101.
- Andreotti, M.; Souza, E.C.A.; Cruscio, C.A.C. 2001. Componentes morfológicos e produção de matéria seca de milho em função da aplicação de calcário e zinco. *Scientia Agricola*, 58(2):321-327.
- Aro, E.M.; Virgin, I.; Anderson, B. 1993. Photonhibition of photosystem II. Inactivation, protein damage and turnover. *Biochim. Biophys. Acta*, 1143:113-134.
- Babani, F.; Lichtenthaler, H.K. 1996. Light-induced and age-dependent development of chloroplast in etiolated barley leaves as visualized by determination of photosynthetic pigments, CO₂ assimilation rates and different kinds of chlorophyll fluorescence ratios. *J. Plant Physio.*, 148:555-556.

- Ball, M.C.; Butterworth, J.A.; Roden, J.S.; Christian, R.; Egerton, J.J.G. 1994. Applications of chlorophyll fluorescence to forest ecology. *Australian Journal of Plant Physiology*, 22:311-319.
- Barber, J.; Anderson, B. 1992. Too much of a good thing: light can be bad for photosynthesis. *Trends in Biochemical Science*, 17:61-66.
- Barth, C.; Krause, G.H.; Winter, K. 2001. Responses of photosystem I compared with photosystem II to high-light stress in tropical shade and sun leaves. *Plant, Cell and Environment*, 24:163-176.
- Biasioli, G.M. 2003. *Influência do pH e da força iônica na liberação de fósforo de compostos do tipo Fe-K-P presentes em superfosfatos*. Master's Thesis. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, Piracicaba, São Paulo. 76p.
- Bolhàr-Nordenkamp, H.R.; Götzl, M. 1992. Chlorophyll-fluoreszenz als Indikator der mit der Seehöhe zunehmenden Strebelastung von Fichtennadeln. *FBVA-Berichte*, 67:119-131.
- Brandão, A.S.P.; Rezende, G.C.; Marques, R.W.C. 2005. Crescimento agrícola no período 1999-2004, explosão da área plantada com soja e meio ambiente no Brasil. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA. Rio de Janeiro-RJ. 21p.
- Brasil, 2005. Ministério da Integração Nacional. *Agência de Desenvolvimento da Amazônia. Amazônia Legal*. <www.ada.gov.br/amazonia/geografica.asp>. Acesso em: Março de 2005.
- Brodribb, T.J.; Holbrook, N.M. 2003. Stomatal Closure during Leaf Dehydration, Correlation with Other Leaf Physiological Traits. *Plant Physiology*, 132:2166-2173.
- Brown, S.; Lugo, A.E. 1994. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. *Rest. Ecol.*, 2:97-111.
- Buckley, T.N.; Farquhar, G.D.; Mott, K.A. 1999. Carbon-water balance and patchy stomatal conductance. *Oecologia*, 118:132-143.
- Caires, E.F.; Fonseca, A.F. 2000. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. *Bragantia*, Campinas, 59(2):213-220.
- Caires, E.F.; Fonseca, A.F.; Mendes, J.; Chueiri, W.A.; Madruga, E.F. 1999. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície em sistemas de plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:315-327.

- Caires, E.F.; Kusman, M.T.; Barth, G.; Garbuio, F.J.; Padilha, J.M. 2004. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:125-136.
- Carneiro, R.G.; Mendes, I.C.; Lovato, P.E.; Carvalho, A.M.; Vivaldi, L.J. 2004. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39(7):661-669.
- Carvalho, M.C.S.; van Raij, B. 1997. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. *Plant Soil*, 192:37-48.
- Chaves, M.M. 1991. Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany*, 42:1-19.
- Costa, E s.; Smith, R.B.; Oliveira, J.G.; Campostrini, E.; Pimentel, C. 2002. Photochemical efficiency in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. and *Vigna unguiculata* L. Walp) during recovery from high temperature stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 14(2):105-110.
- D'Ávila, N. 2003. Desmatamento na Amazônia: o novo nome é soja. Disponível em: www.comciencia.br/reportagens/agronegocio/14.html. Acesso em 14 de Fev de 2005.
- Demmig-Adams, B.; Adams, W.W. 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43:599-626.
- Dias Filho, M.B. 1998. Pastagens cultivadas na Amazônia oriental brasileira: processos e causas de degradação e estratégias de recuperação. In: Dias, L.E.; Mello, J.W.V. (Eds.). *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa: DSO-UFV/SOBRADE. p.135-147.
- Drechsel, P.; Zech, W. 1993. Mineral nutrition of tropical trees. In: Pancel, L. (Ed.) *Tropical Forestry Handbook*. Vol. 1. Springer-Verlag. Berlin. p.515-567.
- Dunisch, O.; Azevedo, C.P.; Gasparotto, L.; Montóia, G.R.; Silva, G.J.; Schwarz, T. 2002. Light, water, and nutrient demand for the growth of three high quality timber species (Meliaceae) of the Amazon. *Journal of Applied Botany*, 76:29-40.
- Dynia, J.F.; Camargo, O.A. 1998. Effects of liming, green manuring, and phosphate addition on electrochemical attributes of an Oxisol from central Brazil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 29:755-762.
- Ernani, P.R.; Ribeiro, M.S.; Bayer, C. 2001. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. *Scientia Agricola*, 58(4):825-831.

- Ernani, P.R.; Barber S.A. 1993. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetada pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 10:41-46.
- Errebhi, M. *et al.* 1998. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. *Agronomy Journal*, 90(1):10-15.
- Evangelista, A.R.; Carvalho, M.M.; Curi, N. 1993. Uso do fogo em pastagens. In: Favoretto, V. *et al.* (Eds.). *Simpósio Sobre Ecossistema de Pastagens*, 2., Jaboticabal. Anais. Jaboticabal: FUNEP. p.62-99.
- Evans, J.R.; Poorter, H. 2001. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant, Cell and Environment*, 24:755-767.
- Euclides, V.P.B. 1994. Algumas considerações sobre manejo das pastagens. Campo Grande: EMBRAPA-CNPGC. 31p.
- Falkiner, R.A.; Khanna, P.K.; Raison, R.J. 1993. Effect of superphosphate addition on N mineralization in some Australian forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(2):285-296.
- Farquhar, G.D.; von Caemmerer, S. 1982. Modelling of photosynthetic response to environmental conditions. In Lange, O.L.; Nobel, P s.; Osmond, C.B.; Ziegler, H. (Eds.). *Encyclopedia of plant physiology*. New Series, Vol. 12B, Springer-Verlag, Berlin, p.549-587.
- Fearnside, P.M. 1993. Deforestation in Brazilian Amazon: the effect of population and land tenure. *Ambio*, 8:537-545.
- Fearnside, P.M. 1999. Biodiversity as an environmental service in Brazil's Amazonian forest: risks, value and conservation. *Environmental conservation*, 26:305-321.
- Fearnside, P.M. 2002. Modelos de uso da terra predominante na Amazônia: Um desafio para a sustentabilidade. In: *Amazônia: uma perspectiva multidisciplinar*. Centro de Ciências do Meio Ambiente. Editora da Universidade do Amazonas (EDUA), Manaus/AM. p.103-154.
- Fearnside, P.M.; Barbosa, R.I. 1998. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 108(1-2):147-166.
- Feldpausch, T.R.; Rondon, M.; Fernandes, E.C.M.; Riha, S.J.; Wandelli, E.V. 2004. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazonia. *Ecological Applications*, 14(4):S164-S176.

- Fonseca, J.A.; Meurer, E.J. 1997. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 21(1):47-50.
- Genty, B.; Briantais, J.M.; Baker, N.R. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta*, 990:87-92.
- Gehring, C.; Denich, M.; Kanashiro, M.; Vlek, P.L.G. 1999. Response of secondary vegetation in Eastern Amazonia to relaxed nutrient availability constraints. *Biogeochemistry*, 45:223-241.
- Giorio, P.; Sorrentino, G.; D'Andria, R. 1999. Stomatal behaviour, leaf water status and photosynthetic response in field-grown olive trees under water deficit. *Environmental and Experimental Botany*, 42:95-104.
- Gomes, F.T.; Pereira, G.D.; Borges, A.C.; Mosquim, P.R.; Fontes, P.C.R.. 2001. Metabolismo do nitrogênio em alfafa nodulada sob supressão e ressuprimento de fósforo. *R. Bras. Fisiol. Veg.*, 13(3):342-356.
- Grant, R. F. 1992. Interaction between carbon dioxide and water deficits affecting canopy photosynthesis: simulation and testing. *Crop Science*, 32:1322-1328.
- Grant, C.A.; Flaten, D.N.; Tomaszewicz, D.J.; Sheppard, S. C. 2001. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Potafos - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. *Informações Agronômicas*, 95:1-5.
- Haynes, R.J. 1986. Nitrification. In: Haynes, R.J. (Ed.). *Mineral nitrogen in the plant-soil system*. Madison: Academic, p.127-165.
- Heldt, H.W.; Flügge, U.I. Borchert, S. 1991. Diversity of specificity and function of phosphate translocators in various plastids. *Plant Physiology*, 95:341-343.
- Hillier, W.; Babcock, G.T. 2001. Photosynthetic reaction centers. *Plant Physiology*, p.33-37.
- Hirose, T.; Bazzaz, F. A. 1998. Trade-off between light and nitrogen use efficiency in canopy photosynthesis. *Annals of Botany*, 82:195-202.
- Homma, A.K.O.; Couto, A.J.; Ferreira, C.A.P.; Carvalho, R.A.; Walker, E.T. 1998. A dinâmica da extração madeireira no Estado do Pará. In: Homma, A.K.O. (Ed.) *Amazônia: meio ambiente e desenvolvimento agrícola*. Brasília: EMBRAPA. p.770-787.

- Horton, P.; Ruban, A.V.; Walters, R.G. 1994. Regulation of light harvesting in green plants. Indication by nonphotochemical quenching of chlorophyll fluorescence. *Plant Physiology*, 106:415-420.
- Host, W.J. 1988. The physiology of manganese toxicity. In: Graham, R.D.; Hannam, R.J.; Uren, N.C. (Eds.). *Manganese in Soil and Plants*. Kluwer Academic, Dordrecht. p.175-188.
- Hunt, S. 2003. Measurements of photosynthesis and respiration in plants. *Physiologia Plantarum*, 117:314-325.
- Jones, H.G. 1993. *Plants and microclimate*. A quantitative approach to environmental plant physiology. Cambridge: Cambridge University Press. 415p.
- Kissel, D.E.; Sander, D.H.; Ellis, R. 1985. Fertilizer-plant interactions in alkaline soils. In: O. P. Engelstad; Madison, WI. *Fertilizer Technology and Use*. p.153-196.
- Koerselman, W.; Meuleman, A.F.M. 1996. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrients limitation. *J. Appl. Ecol.*, 33:1441-1450.
- Köppen, W. 1948. *Climatologia*; versão para o espanhol de Pedro R. Hendrichs Pérez. México, Fundo de Cultura Econômica. 466p.
- Krall, J.P.; Edwards, G.E. 1992. Relationship between photosystem II activity and CO₂ fixation in leaves. *Physiol. Plant*, 86:180-187.
- Krause, G.H. 1988. Photoinhibition of photosynthesis. An evaluation of damaging and protective mechanisms. *Physiologia Plantarum*, 74:566-574.
- Krause, G.H.; Weis, E. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 42:313-349.
- Kull, O. 2002. Acclimation of photosynthesis in canopies: models and limitations. *Oecologia*, 133:267-279.
- Larcher, W. 2000. *Ecofisiologia vegetal*. Editora Rima, São Carlos, 531p.
- Lambers, H.; Chapin III, F.S.; Pons, T.L. 1998. *Plant Physiological Ecology*, Springer-Verlag, New York, 540p.
- Lawlor, D.W. 2002. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals Botany*, 89:871-885.
- Lawson, T.; Oxborough, K.; Morison, J.I.L.; Baker, N.R. 2002. Responses of photosynthetic electron transport in stomatal guard cells and mesophyll cells in intact leaves to light, temperature and humidity. *Plant Physiol.*, 128:52-62.

- Lea, P.J.; Blackwell, R.D. 1992. The role of amino acid metabolism in photosynthesis. In: Singh, B.K.; Flores, H.E.; Shannon, J.C. (Eds.) *Biosynthesis and molecular regulation of amino acids in plants. American Society of Plant Physiologists*, p.98-110.
- Lopes, C.F.; Tamanini, C.R.; Monte Serrat, B., Lima, M.R. 2002. *Acidez do solo e calagem*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Projeto de Extensão Universitária Solo Planta. 50p.
- Lopes, B.F.; Seter, T.L.; McDavid, C.R. 1988. Photosynthesis and water vapor exchange of pigeonpea leaves in response to water deficit and recovery. *Crop Science*, 28:141-145.
- Lorimer, G.H.; Andrews, T.J. 1981. The C₂ chem- and photorespiration carbon oxidation cycle. In: Hatch, M.D.; Boardman, N.K. (Eds.). *Photosynthesis. The biochemistry of plants, a comprehensive treatise*. Academic Press, New York, 8:330-375.
- Lovejoy, T.E.; Bierregaard, R.O. 1990. Central Amazonian forest fragments and the minimum critical size of ecosystems project. In: Gentry, A.H. (Ed). *Four neotropical rainforests*. Yale University Press, New Haven. p.60-71.
- Malavolta, E. 1980. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. Piracicaba, Editora Ceres. 280p.
- Malavolta, E. 1992a. Fertilizantes, corretivos e produtividade: mitos e fatos. In: *Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas*, 20, Piracicaba, 1992. Anais. Campinas: Fundação Cargill. p.89-153.
- Malavolta, E. 1992b. O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta. In: *Seminário sobre o uso do gesso na agricultura*, 2., Uberaba, 1992. São Paulo: Ibrafos. p.41-66.
- Marengo, R.A.; Gonçalves, J.F.C.; Vieira, G. 2001. Leaf gas exchange and carbohydrates in tropical trees differing in successional *status* in two light environments in central Amazonia. *Tree Physiology*, 21(18):1311-1318.
- Marques, E.S.; Faquin, V.; Guimarães, P.T.G. 1999. Teores foliares de nutrientes no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em resposta a calcário e gesso. *Ciênc. e Agrotec.*, 23:140-151.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. 2^a Ed. Academic Press, San Diego, 889p.
- Maxwell, K.; Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *J. Exp. Bot.*, 51:659-668.

- Meirelles, N.M.F. 1993. Degradação de pastagens: critérios de avaliação. In: Paulino, V.T.; Alcântara, P.B.; Beisman, D.A.; Alcântara, V.B.G. (Eds.). *Encontro Sobre Recuperação de Pastagens*, Vol. 1. Anais. Noca Odessa: IZ. p.27-48.
- Mendonça, E.S.; Rowell, D.L. 1994. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um latossolo argiloso sob cerrado e soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 18(3):295-303.
- Mesquita, R.C.G.; Ickes, K.; Ganade, G.; Williamson, G.B. 2001. Alternative successional pathways in the Amazon Basin. *Journal of Ecology*, 89:528-537.
- Miriti, M.N. 1998. Regeneração florestal em pastagens abandonadas na Amazônia Central: competição, predação e dispersão de sementes. In: Gascon, C.; Moutinho, P. (Eds.). *Floresta Amazônica: Dinâmica, regeneração e manejo*. INPA. Manaus-AM. p.179-190.
- Monaco, L.M.; Mesquita, R.C.G.; Williamson, G.B. 2003. Banco de sementes de uma floresta secundária amazônica dominada por *Vismia*. *Acta Amazônica*, 33(1):41-52.
- Moran, E.F.; Brondizio, E.S.; Tucker, J.M.; Silva-Forsberg, M.C.; McCracken, S.; Falesid, I. 2000. Effects of soil fertility and land-use on forest succession in Amazônia. *Forest Ecology and Management*, 139:93-108.
- Mott, K.A.; Buckley, T.N. 1998. Patchy stomatal conductance. *J. Exp. Bot.*, 49:407-417.
- Munson, R.D. 1982. Potassium, calcium and magnesium in the tropics and subtropics. [s.e.]: International Fertilizers Development Center. 62p.
- Muzilli, O. 1983. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 7(1):95-102.
- Nepstad, D.C.; Uhl, C.; Serrão, E.A. 1991. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration. *Ambio*, 20:248-255.
- Nepstad, D.; Capobianco, J.P.; Barros, A.C.; Carvalho, C.; Moutinho, P.; Lopes, P.; Lefebvre, P. 2000. *Avança Brasil: os custos ambientais para a Amazônia*. 1ª Ed. Gáfica Editora Alves, Belém/PA. 24p.
- Nilsen, E.T.; Orcutt, D.M. 1996. *The physiology of plants under stress: abiotic factors*. John Wiley, New York. 350p.
- Nogueira, A.R.A.; Mozeto, A.A. 1990. Interações químicas do sulfato e carbonato de cálcio em seis solos paulistas sob vegetação de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:1-6.
- Noguchi, K.; Nakajima, N.; Terashima, I. 2001. Acclimation of leaf respiratory properties in *Alocasia odora* following reciprocal transfers of plants between high- and low-light environments. *Plant, Cell and Environment*, 24:831-839.

- Novitskaya, L.; Trevanion, S. J.; Driscoll, S.; Foyer, C.H.; Noctor, G. 2002. How does photorespiration modulate leaf amino acid contents? A dual approach through modelling and metabolite analysis. *Plant, Cell and Environment*, 25:821-835.
- Nunes, F.N.; Novais, R.F.; Silva, I.R.; Gebrim, F.O.; José, J.F.B. 2004. Fluxo difusivo de ferro em solos sob influência de doses de fósforo e de níveis de acidez e umidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:423-429.
- Oaks, A. 1992. Nitrogen assimilation in roots: a re-evaluation. *Bioscience*, 142:103-111.
- Oliveira Jr., J.A.; Malavolta, E.; Cabral, C.P. 2000. Efeitos do manganês sobre a soja cultivada em solo de cerrado do triângulo mineiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35(8):1629-1636.
- Oliveira, J.G.; Alves, P.L.C.A.; Magalhães, A.C. 2002. The effect of chilling on the photosynthetic activity in coffee (*Coffea arabica* L.) seedlings. The protective action of chloroplastid pigments. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 14(2):95-104.
- Osmond, C.B.; Bjorkman, O.; Anderson, J. 1980. Water movement and plant response to water stress. In: *Ecoletogical Studies. Physiological Process in Plant Ecoletogy: Towards a Synthesis with Atriplex*. Springer Verlag, Berlin, 36:251-290.
- Parrotta, J.A. 1992. The role of plantation forest in rehabilitating degraded ecosystems. *Agric. Ecosys. Environ.*, 41:115-133.
- Parrota, J.A.; Turnbull, J. W.; Jones, N. 1997. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *For. Ecol. Manage.*, 99:1-7.
- Patel, S.K.; Rhoads, F.M.; Hanlon, E.A.; Barnett, R.D. 1993. Potassium and magnesium uptake by wheat and soybean roots as influenced by fertilizer rate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 24(13-14):1543-1556.
- Peres, L.E.P. 2002. Absorção e transporte de nutrientes pelas raízes. *Revista Universa*, p.45-66.
- Petry, C. 1991. *Adaptação de cultivares de soja à deficiência hídrica no solo*. Dissertação Mestrado. Santa Maria: UFSM. 106p.
- Poggiani, F.; Schumacher, M.V. 2004. Nutrient cycling in native forests. In: Gonçalves, J.L.M.; Benedetti, V. (Eds.). *Forest nutrition and fertilization*. Piracicaba: IPEF. p.285-306.
- Poorter, H.; Jong, R. 1999. A comparison of specific leaf area, chemical composition and leaf construction costs of field plants from 15 habitats differing in productivity. *New Phytol.*, 143:163-176.

- Portis Jr., A.R. 1982. Effects of the relative extrachloroplastic concentrations of inorganic phosphate, 3-phosphoglycerate and dihydroxyacetona phosphate on the rate of starch synthesis in isolated spinach chloroplasts. *Plant Physiol.*, 70:393-396.
- Pottker, D.; Ben, J.R. 1998. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:75-684.
- Prado, C.H.B.A.; Wenhui, Z.; Rojas, M.H.C.; Souza, G.M. 2004. Seasonal leaf gas exchange and water potential in a woody cerrado species community. *Braz. J. Plant Physiol.*, 16(1):7-16.
- Puerta, R. 2002. Regeneração arbórea em pastagens abandonadas na região de Manaus em função da distância da floresta contínua. *Scientia Forestalis*, 62:32-39.
- Reich, P.B.; Ellsworth, D.S.; Walters, M.B. 1998. Leaf structure (specific leaf area) modulates photosynthesis-nitrogen relations: evidence from within and across species and functional groups. *Functional Ecology*, 12:948-958.
- Reich, P.B.; Ellsworth, D.S.; Walters, M.B.; Vose, J.M.; Gresham, C.; Volin, J.C.; Bowman, W.D. 1999. Generality of leaf trait relationships: a test across six biomes *Ecology*, 80(6):1955–1969.
- Reiheimer, D. 2000. *Dinâmica do fósforo em sistema de manejo de solos*. Doctor's Thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 80p.
- Richardson, A.D.; Berlyn, G.P. 2002. Changes in foliar spectral reflectance and chlorophyll fluorescence of four temperate species following branch cutting. *Tree Physiology*, 22:499–506.
- Roque, C.G.; Prado, R.M.; Natale, W.; Beutler, A.N.; Centurion, J.F. 2004. Estado nutricional e produtividade da seringueira em solo com calcário aplicado superficialmente *Pesq. Agropec. Bras.*, 39(5):485-490.
- Rosolem, C.A.; Foloni, J.S.S.; Oliveira, R.H. 2003. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38(2):301-309.
- Ryan, M.G. 1995. Foliar maintenance respiration of subalpine and boreal trees and shrubs in relation to nitrogen content. *Plant, Cell Environ.*, 18:765-772.
- Salisbury, F.B.; Ross, C.W. 1992. *Plant Physiology*. Library of Congress Cataloging in Publication Data. 682p.
- Santos, F.S.; Carlesso, R. 1998. Déficit hídrico e os procesos morfológicos e fisiológicos das plantas. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 2(3):287-294.

- Santos Jr. U.M. 2003. *Ecofisiologia de espécies arbóreas plantadas sobre áreas degradadas por atividade petrolífera na Amazônia Central*. Master's Thesis. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 134p.
- Sarmiento, P.; Corsi, M.; Campos, F.P. 2001. Resposta da alfafa a fontes de fósforo associadas ao gesso e à calagem. *Scientia Agricola*, 58(2):381-390.
- Schachtman, D.P.; Reid, R.J.; Ayling, S.M. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology*, 116:447-453.
- Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.D.; Hemmingsen, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148:39-46.
- Schreiber, U.; Bilger, W.; Neubauer, C. 1994. Chlorophyll fluorescence as a non destructive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: Schulze, E.D.; Caldwell, M.M. (Eds.). *Ecophysiology of Photosynthesis*. Springer, Berlin. p.49-70.
- Serrão, E.A.S.; Falesi, I.C.; Veiga, J.B.; Teixeira Neto, J.F. 1982. Produtividade de pastagens cultivadas em solos de baixa fertilidade das áreas de floresta da Amazônia brasileira. In: Tergas, L.E.; Sanchez, P.A.; Serrão, E.A.S. (Eds.) *Produção de pastagens em solos ácidos dos trópicos*. Brasília: CIAT; EMBRAPA. p.219-252.
- Serrão, E.A.; Homma, A.K.O. 1991. *Agricultura in the Amazon: the question of sustainability*. Washington: Committee for Agriculture Sustainability and Environment in the Humid Tropics. 100p.
- Sharkey, T.D. 1988. Estimating the rate of photorespiration in leaves. *Physiol. Plant.*, 73:666-680.
- Sharma, A. 1991. Manganese in cell metabolism of higher plants. *Botanical Review*, 57(2):117(33).
- Silva, C.A.; Vale, F. R.; Anderson, S.J.; Kobal, A.R. 1999. Mineralização de nitrogênio e enxofre em solos brasileiros sob influência da calagem e fósforo. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 34(9):1679-1689.
- Silva, C.A.; Vale, F.R.; Guilherme, L.R.G. 1994. Efeito da calagem na mineralização do nitrogênio em solos de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 18(3):471-476.
- Silva, F.C. 1999. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa. Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. 370p.
- Silva, N.M.; Raij, B. van; Bataglia, O.C.; Kondo, J.I. 1992. Efeito do gesso contido no superfosfato simples na redução da acidez do solo, em ensaio de longa duração com o

- algodoeiro. In: *Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas*. Piracicaba, 1992. *Anais*. Campinas, Fundação Cargill. 2:348-349.
- Spreitzer, R.J.; Salvucci, M.E. 2002. RUBISCO: Structure, Regulatory Interactions, and Possibilities for a Better Enzyme. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 53:449-75.
- Tanaka, R.T.; Mascaranhas, H.A.A.; Bulisani, E.A. 1992. Deficiência de manganês em soja induzida por excesso de calcário. *Pesq. Agropec. Bras.*, 27(2):247-250.
- Taiz, L.; Zeiger, E. 2004. *Fisiologia vegetal*. 3ª Ed. Artmed. Porto Alegre-RS. 720p.
- Tessier, J.T.; Raynal, D.J. 2003. Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation. *Journal of Applied Ecology*, 40:523-534.
- Thomas, D.S.; Turner, D.W. 2001. Banana (*Musa* sp.) leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in response to soil drought, shading and lamina folding. *Science Horticulture*, 90:93-108.
- Tisdale, S.L.; Nelson, W.L.; Beaton, J.D.; Havlin, J.L. 1993. Soil and fertilizer phosphorus. In: Tisdale, S.L.; Nelson, W.L.; Beaton, J.D.; Havlin, J.L. (Eds.). *Soil fertility and fertilizers*. New York: Macmillan. p.176-229.
- Toledo, P. 2004. *A geopolítica da soja na Amazônia*. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém-PA. 80p.
- Toniolo, A.; Uhl, C. 1996. Perspectivas econômicas e ecológicas da agricultura na Amazônia Oriental. In: Almeida, O. (Ed.). *A evolução da fronteira Amazônica, oportunidades para um desenvolvimento sustentável*. Imazon. Belém-PA. p.67-99.
- Treeby, M.T.; van Steveninck, R.F.M.; Vries, H.M. 1987. Quantitative estimates of phosphorus concentration within *Lupinus luteus* leaflets by means of electron probe X-ray microanalysis. *Plant Physiol.*, 85:331-334.
- Turner, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, 58:339-366.
- Uhl, C.; Buschbacher, R.; Serrão, E.A s. 1988a. Abandoned pasture in eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *J. Ecol.*, 76:663-681.
- Uhl, C.; Buschbacher, R.; Serrão, E.A s. 1988b. Abandoned pasture in eastern Amazonia. II. Nutrient stocks in the soil and vegetation. *J. Ecol.*, 76:663-681.
- Uhl, C.; Clark, H.; Clark, K.; Maquirino, P. 1982. Successional patterns associated with slash-and-burn agriculture in the upper Rio Negro region of the Amazon basin. *Biotropica*, 14:249-254.

- van Kooten, O.; Snell, J.F.H. 1990. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynth. Res.*, 25:147-150.
- van Raij, B.; Andrade, J.C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. 2001. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônômico. 285p.
- van Wambeke, A. 1992. *Soils of the Tropics: Properties and Appraisal*. McGraw-Hill Inc., New York. 150p.
- Veiga, J.B.; Tourrand, J.F.; Piketty, M.G. *et al.* 2004. *Expansão e trajetória da pecuária na Amazônia*. Ed. Universidade de Brasília, Brasília. 29p.
- Verhoeven, J.T.A., Koerselman, W.; Meuleman, A.F.M. 1996. Nitrogen- or phosphorus-limited growth in herbaceous, wet vegetation: relations with atmospheric inputs and management regimes. *Trends in Ecology and Evolution*, 11:494-497.
- Wadt, P.G.S.; Wadt, L.H.O. 1999. Movimentação de cátions em amostras de um latossolo vermelho-amarelo incubadas com duas fontes de cálcio. *Scientia Agricola*, 56(4):1157-1164.
- Waldhoff, D.; Furch, B.; Junk, W.J. 2002. Fluorescence parameters, chlorophyll concentration, anatomical features as indicators for flood adaptation abundant tree species in central Amazonia: *Symmeria paniculata*. *Environmental and Experimental Botany*, 48:225-235.
- Wingler, A.; Lea, P.J.; Quick, W.P.; Leegood, R.C. 2000. Photorespiration: metabolic pathways and their role in stress protection. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 355:1517-1529.
- Witkowski, E.T.F.; Lamont, B.B. 1991. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. *Oecologia*, 88:486-493.
- Wolfe, D.W.; Henderson, D.W.; Hsiao, T.C. *et al.* 1988. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize: I. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. *Agronomy Journal*, 80:859-864.
- Wright, G.C.; Smith, R.G.; McWilliam, J.R. 1983. Differences between two grain sorghum genotypes in adaptation to drought stress. I. Crop growth rate and yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, 34:615-626.
- Wykoff, D.D.; Davies, J.P.; Melis, A.; Grossman, A.R. 1998. The Regulation of Photosynthetic Electron Transport during Nutrient Deprivation in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Physiology*, 117:129-139.
- Zahawi, R.A.; Augspurger, C.K. 1999. Early plant succession in abandoned pastures in Ecuador. *Biotropica*, 31(4):540-552.

V. ANEXOS

Anexo 1: Resultado da análise estatística dos diferentes parâmetros estudados.

Fertilidade do solo**Potencial hidrogeniônico (pH)**

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	3	0.2972344	0.9907812E-01	28.384	0.00000
PROF	3	0.2508844	0.8362812E-01	23.958	0.00000
TRAT X PROF	9	0.3968281	0.4409201E-01	12.632	0.00001
Resíduo	16	0.5585000E-01	0.3490625E-02		

Coeficiente de Variação = 1.294

Alumínio (Al)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	3	0.139375	0.4645833E-01	4.309	0.02082
PROF	3	1.945625	0.6485417	60.155	0.00000
TRAT X PROF	9	0.661250	0.7347222E-01	6.815	0.00048
Resíduo	16	0.172500	0.1078125E-01		

Coeficiente de Variação = 11.457

Carbono (C)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	3	19.331	6.444	4.753	0.01484
PROF	3	1850.066	616.688	454.874	0.00000
TRAT X PROF	9	32.168	3.574	2.636	0.04358
Resíduo	16	21.692	1.356		

Coeficiente de Variação = 7.722

Nitrogênio (N)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	3	0.3302500E-01	0.1100833E-01	6.499	0.00440
PROF	3	5.838650	1.946217	1149.058	0.00000
TRAT X PROF	9	0.1527750	0.1697500E-01	10.022	0.00005
Resíduo	16	0.2710000E-01	0.1693750E-02		

Coeficiente de Variação = 4.419

Fósforo (P)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	3	18.2853	6.09510	8.917	0.00105
PROF	3	116.1929	38.73095	56.664	0.00000
TRAT X PROF	9	43.0252	4.78058	6.994	0.00042
Resíduo	16	10.9363	0.68351		

Coefficiente de Variação = 33.434

Potássio (K)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	3	479.594	159.865	26.234	0.00000
PROF	3	7016.344	2338.781	383.800	0.00000
TRAT X PROF	9	398.781	44.309	7.271	0.00033
Resíduo	16	97.500	6.094		

Coefficiente de Variação = 9.261

Cálcio (Ca)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	3	30072.38	10024.12	60.307	0.00000
PROF	3	38882.69	12960.90	77.975	0.00000
TRAT X PROF	9	36177.81	4019.76	24.184	0.00000
Resíduo	16	2659.50	166.22		

Coefficiente de Variação = 31.590

Magnésio (Mg)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	3	3128.125	1042.708	175.614	0.00000
PROF	3	6208.250	2069.417	348.533	0.00000
TRAT X PROF	9	3719.000	413.2222	69.595	0.00000
Resíduo	16	95.000	5.9375		

Coefficiente de Variação = 13.416

Ferro (Fe)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	3	36352.25	12117.42	8.975	0.00102
PROF	3	705458.50	235152.80	174.179	0.00000
TRAT X PROF	9	53859.75	5984.42	4.433	0.00474
Resíduo	16	21601.00	1350.06		

Coefficiente de Variação = 13.379

Manganês (Mn)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	3	13.45750	4.48583	57.882	0.00000
PROF	3	39.63250	13.21083	170.462	0.00000
TRAT X PROF	9	3.72500	0.41389	5.341	0.00184
Resíduo	16	1.24000	0.7750000E-01		

Coefficiente de Variação = 13.833

Zinco (Zn)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	3	0.518437	0.172812	5.586	0.00813
PROF	3	7.148438	2.382813	77.020	0.00000
TRAT X PROF	9	1.705313	0.189479	6.125	0.00088
Resíduo	16	0.495000	0.3093750E-01		

Coefficiente de Variação = 22.247

Área Foliar Específica (AFE)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	71	21207.46			
Total de Redução	23	18866.92	820.3010	16.82	0.0000
PER	1	25.12773	25.12773	0.52	*****
TRAT	3	2599.109	866.3697	17.77	0.0000
ESP	2	12611.76	6305.882	129.32	0.0000
ESP*TRAT	6	1335.096	222.5161	4.56	0.0010
ESP*PER	2	1502.139	751.0695	15.40	0.0000
TRAT*PER	3	137.2719	45.75731	0.94	*****
ESP*TRAT*PER	6	656.4145	109.4024	2.24	0.0547
Resíduo	48	2340.539	48.76122		

Número de Dados = 72
 Média Geral = 100.93
 Coef. de Variação = 6.9183

Potencial hídrico foliar - Antemanhã (Ψ_{am})

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	71	57.05319			
Total de Redução	23	47.63319	2.071008	10.55	0.0000
PER	1	26.28125	26.28125	133.92	0.0000
TRAT	3	2.329306	0.7764352	3.96	0.0134
ESP	2	1.160278	0.5801389	2.96	0.0616
ESP*TRAT	6	1.741944	0.2903241	1.48	0.2054
ESP*PER	2	0.6825000	0.3412500	1.74	0.1866
TRAT*PER	3	12.81819	4.272731	21.77	0.0000
ESP*TRAT*PER	6	2.619722	0.4366204	2.22	0.0566
Resíduo	48	9.420000	0.1962500		

Número de Dados = 72
Média Geral = 2.2153
Coef. de Variação = 19.998

Potencial hídrico foliar - meio-dia (Ψ_{md})

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	71	1785.875			
Total de Redução	23	1695.708	73.72645	39.25	0.0000
PER	1	1120.222	1120.222	596.35	0.0000
TRAT	3	252.4583	84.15278	44.80	0.0000
ESP	2	117.7500	58.87500	31.34	0.0000
ESP*TRAT	6	105.6667	17.61111	9.38	0.0000
ESP*PER	2	5.444444	2.722222	1.45	0.2449
TRAT*PER	3	36.36111	12.12037	6.45	0.0009
ESP*TRAT*PER	6	57.80556	9.634259	5.13	0.0004
Resíduo	48	90.16667	1.878472		

Número de Dados = 72
Média Geral = 17.042
Coef. de Variação = 8.0425

Nutrientes foliares**Nitrogênio (N)**

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	71	1452.581			
Total de Redução	23	1315.902	57.21313	20.09	0.0000
PER	1	56.10936	56.10936	19.70	0.0001
TRAT	3	69.56485	23.18828	8.14	0.0002
ESP	2	902.4189	451.2095	158.46	0.0000
ESP*TRAT	6	177.6864	29.61440	10.40	0.0000
ESP*PER	2	72.86467	36.43234	12.79	0.0000
TRAT*PER	3	16.31541	5.438470	1.91	0.1406
ESP*TRAT*PER	6	20.94247	3.490412	1.23	0.3098
Resíduo	48	136.6789	2.847477		

Número de Dados = 72
Média Geral = 15.357
Coef. de Variação = 10.988

Fósforo (P)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	71	9.444189			
Total de Redução	23	6.699688	0.2912908	5.09	0.0000
PER	1	1.431337	1.431337	25.03	0.0000
TRAT	3	1.342523	0.4475076	7.83	0.0002
ESP	2	2.395085	1.197542	20.94	0.0000
ESP*TRAT	6	0.8592544	0.1432091	2.50	0.0344
ESP*PER	2	0.7743435E-02	0.3871718E-02	0.07	*****
TRAT*PER	3	0.4595850	0.1531950	2.68	0.0574
ESP*TRAT*PER	6	0.2041613	0.3402688E-01	0.60	*****
Resíduo	48	2.744501	0.5717711E-01		

Número de Dados = 72
Média Geral = 0.91624
Coef. de Variação = 26.098

Potássio (K)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	71	372.0405			
Total de Redução	23	286.7845	12.46889	7.02	0.0000
PER	1	173.1598	173.1598	97.49	0.0000
TRAT	3	21.80440	7.268135	4.09	0.0115
ESP	2	24.88372	12.44186	7.00	0.0021
ESP*TRAT	6	14.15975	2.359958	1.33	0.2629
ESP*PER	2	3.607169	1.803585	1.02	0.3699
TRAT*PER	3	45.87297	15.29099	8.61	0.0001
ESP*TRAT*PER	6	3.296645	0.5494409	0.31	*****
Resíduo	48	85.25600	1.776167		

Número de Dados = 72
Média Geral = 3.1097
Coef. de Variação = 42.857

Cálcio (Ca)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	71	367.1382			
Total de Redução	23	318.4989	13.84778	13.67	0.0000
PER	1	99.62289	99.62289	98.31	0.0000
TRAT	3	34.48429	11.49476	11.34	0.0000
ESP	2	122.0196	61.00981	60.21	0.0000
ESP*TRAT	6	24.86880	4.144800	4.09	0.0022
ESP*PER	2	12.97861	6.489306	6.40	0.0034
TRAT*PER	3	9.993848	3.331283	3.29	0.0285
ESP*TRAT*PER	6	14.53079	2.421799	2.39	0.0422
Resíduo	48	48.63934	1.013320		

Número de Dados = 72
Média Geral = 3.6175
Coef. de Variação = 27.827

Magnésio (Mg)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	71	34.27492			
Total de Redução	23	28.10434	1.221928	9.51	0.0000
PER	1	16.87740	16.87740	131.29	0.0000
TRAT	3	2.486700	0.8289002	6.45	0.0009
ESP	2	1.927191	0.9635955	7.50	0.0015
ESP*TRAT	6	3.319403	0.5532338	4.30	0.0015
ESP*PER	2	1.075547	0.5377733	4.18	0.0212
TRAT*PER	3	0.2625116	0.8750386E-01	0.68	*****
ESP*TRAT*PER	6	2.155581	0.3592634	2.79	0.0206
Resíduo	48	6.170585	0.1285539		

Número de Dados = 72
Média Geral = 1.5455
Coef. de Variação = 23.199

Ferro (Fe)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	71	10837.50			
Total de Redução	23	10030.74	436.1190	25.95	0.0000
PER	1	4316.753	4316.753	256.84	0.0000
TRAT	3	602.1370	200.7123	11.94	0.0000
ESP	2	813.9653	406.9826	24.21	0.0000
ESP*TRAT	6	865.7230	144.2872	8.58	0.0000
ESP*PER	2	220.1319	110.0660	6.55	0.0031
TRAT*PER	3	1061.804	353.9345	21.06	0.0000
ESP*TRAT*PER	6	2150.223	358.3705	21.32	0.0000
Resíduo	48	806.7593	16.80748		

Número de Dados = 72
Média Geral = 25.743
Coef. de Variação = 15.925

Manganês (Mn)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	71	71017.46			
Total de Redução	23	64125.10	2788.048	19.42	0.0000
PER	1	19558.02	19558.02	136.21	0.0000
TRAT	3	318.9198	106.3066	0.74	*****
ESP	2	29438.74	14719.37	102.51	0.0000
ESP*TRAT	6	4497.923	749.6538	5.22	0.0003
ESP*PER	2	7167.151	3583.576	24.96	0.0000
TRAT*PER	3	1072.679	357.5597	2.49	0.0715
ESP*TRAT*PER	6	2071.664	345.2773	2.40	0.0411
Resíduo	48	6892.352	143.5907		

Número de Dados = 72
Média Geral = 40.787
Coef. de Variação = 29.379

Zinco (Zn)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	71	11090.30			
Total de Redução	23	9916.098	431.1347	17.62	0.0000
PER	1	5041.753	5041.753	206.10	0.0000
TRAT	3	127.0413	42.34709	1.73	0.1732
ESP	2	3641.961	1820.980	74.44	0.0000
ESP*TRAT	6	149.5455	24.92425	1.02	0.4245
ESP*PER	2	755.0718	377.5359	15.43	0.0000
TRAT*PER	3	114.0320	38.01067	1.55	0.2128
ESP*TRAT*PER	6	86.69367	14.44895	0.59	*****
Resíduo	48	1174.204	24.46258		

Número de Dados = 72
Média Geral = 18.229
Coef. de Variação = 27.132

Fotossíntese**Respiração (R_d)**

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	359	177.6724			
Total de Redução	11	39.10676	3.555160	8.93	0.0000
ESPÉCIE	2	16.66602	8.333011	20.93	0.0000
TRAT	3	6.265853	2.088618	5.25	0.0015
ESPÉCIE*TRAT	6	16.17489	2.695815	6.77	0.0000
Resíduo	348	138.5656	0.3981771		

Número de Dados = 360
Média Geral = 1.9171
Coef. de Variação = 32.915

Fotossíntese líquida (A)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	359	4731.381			
Total de Redução	11	4475.428	406.8571	553.17	0.0000
ESPÉCIE	2	991.4144	495.7072	673.98	0.0000
TRAT	3	2678.371	892.7904	1213.86	0.0000
ESPÉCIE*TRAT	6	805.6421	134.2737	182.56	0.0000
Resíduo	348	255.9533	0.7354979		

Número de Dados = 360
Média Geral = 13.290
Coef. de Variação = 6.4530

Taxa de transporte de elétrons (J)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	359	168316.4			
Total de Redução	11	147747.6	13431.60	227.25	0.0000
ESPÉCIE	2	28982.26	14491.13	245.17	0.0000
TRAT	3	80035.18	26678.39	451.37	0.0000
ESPÉCIE*TRAT	6	38730.17	6455.028	109.21	0.0000
Resíduo	348	20568.83	59.10583		

Número de Dados = 360
 Média Geral = 89.459
 Coef. de Variação = 8.5940

Fotorrespiração (P_r)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	359	136.3206			
Total de Redução	11	96.59309	8.781190	76.92	0.0000
ESPÉCIE	2	10.88348	5.441742	47.67	0.0000
TRAT	3	45.24344	15.08115	132.11	0.0000
ESPÉCIE*TRAT	6	40.46616	6.744360	59.08	0.0000
Resíduo	348	39.72747	0.1141594		

Número de Dados = 360
 Média Geral = 2.3858
 Coef. de Variação = 14.162

Taxa de oxigenação (V_o)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	359	545.2822			
Total de Redução	11	386.3723	35.12476	76.92	0.0000
ESPÉCIE	2	43.53394	21.76697	47.67	0.0000
TRAT	3	180.9738	60.32459	132.11	0.0000
ESPÉCIE*TRAT	6	161.8646	26.97744	59.08	0.0000
Resíduo	348	158.9099	0.4566376		

Número de Dados = 360
 Média Geral = 4.7716
 Coef. de Variação = 14.162

Taxa de carboxilação (V_c)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	359	6591.645			
Total de Redução	11	5955.886	541.4442	296.37	0.0000
ESPÉCIE	2	1293.295	646.6476	353.96	0.0000
TRAT	3	3298.233	1099.411	601.79	0.0000
ESPÉCIE*TRAT	6	1364.357	227.3929	124.47	0.0000
Resíduo	348	635.7591	1.826894		

Número de Dados = 360
 Média Geral = 17.593
 Coef. de Variação = 7.6827

Condutância estomática (gs)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	359	537377.3			
Total de Redução	11	488566.2	44415.11	316.66	0.0000
ESPÉCIE	2	82737.82	41368.91	294.94	0.0000
TRAT	3	173862.4	57954.13	413.19	0.0000
ESPÉCIE*TRAT	6	231966.0	38660.99	275.63	0.0000
Resíduo	348	48811.10	140.2618		

Número de Dados = 360
Média Geral = 57.328
Coef. de Variação = 20.659

Taxa de transpiração (E)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	359	1012.197			
Total de Redução	11	689.6005	62.69095	67.63	0.0000
ESPÉCIE	2	209.3655	104.6828	112.93	0.0000
TRAT	3	219.8295	73.27650	79.05	0.0000
ESPÉCIE*TRAT	6	260.4054	43.40091	46.82	0.0000
Resíduo	348	322.5963	0.9270010		

Número de Dados = 360
Média Geral = 4.4701
Coef. de Variação = 21.539

Eficiência no uso da água (EUA)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	359	416.4820			
Total de Redução	11	161.6783	14.69802	20.07	0.0000
ESPÉCIE	2	28.70397	14.35198	19.60	0.0000
TRAT	3	9.212138	3.070713	4.19	0.0062
ESPÉCIE*TRAT	6	123.7622	20.62703	28.17	0.0000
Resíduo	348	254.8037	0.7321946		

Número de Dados = 360
Média Geral = 3.2490
Coef. de Variação = 26.337

Eficiência intrínseca no uso da água (EIUA)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	359	87872.12			
Total de Redução	11	75309.52	6846.320	189.65	0.0000
ESPÉCIE	2	16333.49	8166.743	226.23	0.0000
TRAT	3	17404.09	5801.363	160.71	0.0000
ESPÉCIE*TRAT	6	41571.94	6928.657	191.93	0.0000
Resíduo	348	12562.61	36.09945		

Número de Dados = 360
Média Geral = 30.158
Coef. de Variação = 19.923

Fluorescência da clorofila a

Fluorescência inicial (F_o)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	107	18532.67			
Total de Redução	11	10799.11	981.7374	12.19	0.0000
ESP	2	6946.889	3473.444	43.12	0.0000
TRAT	3	2061.852	687.2840	8.53	0.0000
ESP*TRAT	6	1790.370	298.3951	3.70	0.0023
Resíduo	96	7733.556	80.55787		

Número de Dados = 108
 Média Geral = 164.56
 Coef. de Variação = 5.4543

Fluorescência variável (F_v)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	107	674463.7			
Total de Redução	11	538127.7	48920.70	34.45	0.0000
ESP	2	245950.1	122975.0	86.59	0.0000
TRAT	3	202406.0	67468.68	47.51	0.0000
ESP*TRAT	6	89771.57	14961.93	10.54	0.0000
Resíduo	96	136336.0	1420.167		

Número de Dados = 108
 Média Geral = 627.72
 Coef. de Variação = 6.0035

Fluorescência máxima (F_m)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	107	627403.7			
Total de Redução	11	462457.4	42041.59	24.47	0.0000
ESP	2	189628.7	94814.36	55.18	0.0000
TRAT	3	186022.4	62007.47	36.09	0.0000
ESP*TRAT	6	86806.31	14467.72	8.42	0.0000
Resíduo	96	164946.2	1718.190		

Número de Dados = 108
 Média Geral = 792.28
 Coef. de Variação = 5.2319

Eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	107	0.8990492E-01			
Total de Redução	11	0.7648314E-01	0.6953013E-02	49.73	0.0000
ESP	2	0.4375872E-01	0.2187936E-01	156.49	0.0000
TRAT	3	0.2271092E-01	0.7570306E-02	54.15	0.0000
ESP*TRAT	6	0.1001350E-01	0.1668917E-02	11.94	0.0000
Resíduo	96	0.1342178E-01	0.1398102E-03		

Número de Dados = 108
 Média Geral = 0.78953
 Coef. de Variação = 1.4976

Eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_o)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	107	44.22913			
Total de Redução	11	38.18021	3.470928	55.09	0.0000
ESP	2	22.36315	11.18157	177.46	0.0000
TRAT	3	11.12420	3.708067	58.85	0.0000
ESP*TRAT	6	4.692861	0.7821434	12.41	0.0000
Resíduo	96	6.048920	0.6300958E-01		

Número de Dados = 108
 Média Geral = 3.8492
 Coef. de Variação = 6.5212