

**Mestrado Profissional**  
**Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais**

**MADSON OLIVEIRA LIMA**

**PROPAGAÇÃO E CRESCIMENTO DE GRAMÍNEAS NATIVAS DAS CANGAS DE  
CARAJÁS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título do Programa em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Orientador(a): Cecílio Frois Caldeira Júnior, PhD.

**Belém – PA**

**2020**

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L732 Lima, Madson Oliveira  
Propagação e crescimento de gramíneas nativas das cangas de Carajás /  
Madson Oliveira Lima -- Belém-PA, 2020.

47 f.: il.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Tecnológico, 2020.  
Orientadora: Cecílio Frois Caldeira Júnior, PhD.

1. Gramíneas – Carajás (PA). 2. Canga – Carajás (PA). 3. Áreas degradadas  
- Carajás (PA). I. Caldeira Junior, Cecílio Fróis. II. Título

CDD.23 ed. 582.98115

Bibliotecário(a) responsável :Nisa Gonçalves CRB-2: 525

**MADSON OLIVEIRA LIMA**

**PROPAGAÇÃO E CRESCIMENTO DE GRAMÍNEAS NATIVAS DAS  
CANGAS DE CARAJÁS.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV).

Data da aprovação: 12 de Março de 2020

Banca examinadora:

---

Cecílio Frois Caldeira Junior  
Orientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

---

Silvio Junio Ramos  
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

---

Rafael Silva Guedes  
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Manoel e Marinê, por sempre  
acreditarem e me apoiarem, por terem me ensinado  
todos os valores que tenho.*

*Ao meu amigo e companheiro Thiago,  
por todo amor, incentivo,  
apoio e compreensão.*

*A Deus por sempre estar comigo.*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meu pai e minha mãe, pelo amor, confiança e suporte.

Ao meu amor, pelo apoio, cobrança e pela força diária que recebo dessa pessoa maravilhosa.

Aos amigos que estiverem ao meu lado, incentivando, torcendo e apoiando.

Ao paraense Cecílio, pela orientação, oportunidade e grande amizade.

Muito obrigado!

Thank you

谢谢你！

## RESUMO

Ambiente degradados, principalmente os impactados pela mineração como as pilhas de estéril e taludes do interior de mina, apresentam, na maioria dos casos, substratos com baixo teor de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes. Para revegetação destas áreas e redução da erosão, há a necessidade de uso de plantas com crescimento rápido para recobrimento do solo, as quais devem apresentar elevada capacidade de incorporação de carbono (C), facilidade de propagação e ocorrência nas comunidades do entorno (espécies nativas). Portanto, objetivou-se avaliar o crescimento de gramíneas nativas em função do incremento de nitrogênio (N) ao substrato de áreas de mineração de Carajás a ser revegetado. Foram selecionadas as espécies nativas *Paspalum cinerascens* e o *Axonopus longispicus* para propagação e crescimento, pois estão entre as mais comuns nas formações de canga nas Serras de Carajás, onde ocorre mineração de ferro na região. O estudo teve duração de 110 dias de cultivo e teve a adição de N fracionada em 3 doses (fonte ureia -  $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) e quatro níveis de N (0, 40, 80 e 200). As variáveis analisadas foram biomassa de raiz e aérea, trocas gasosas, teor de pigmentos, anatomia foliar e composição nutricional da parte aérea. As duas gramíneas nativas apresentaram potencial de propagação vegetativa via separação de perfilhos. Apesar de o crescimento de *A. longispicus* não ter sido alterado pela maior disponibilização de N, um maior sucesso de crescimento destes perfilhos foi observado para o *P. cinerascens*. Esta espécie aumentou em mais de 2x a capacidade de fixação de carbono, perfazendo em acúmulo de biomassa superior em cerca 3x ao tratamento controle. Ademais, ajustes fisiológicos como à diminuição do número de estômatos na epiderme celular permitiram não só o aumento da condutância como o maior controle de abertura dos mesmos devido ao aumento dos diâmetros polar e equatorial, permitindo a uma maior eficiência de uso da água. Ambas as espécies apresentaram potencial uso para emprego na revegetação em áreas de mineração em Carajás. O *P. cinerascens* apresentou crescimento otimizado após correção de pH, fertilização e adição de 80 mg de N por  $\text{dm}^3$  de substrato estéril vermelho e o *A. longispicus* apresenta alta taxa de sobrevivência dos perfilhos, no entanto, novos estudos são necessários, visando aumentar a produção de biomassa para esta espécie.

**Palavras-chave:** Gramíneas. Mineração. Recuperação de Áreas Degradadas.

## ABSTRACT

Degraded environments, mainly the ones impacted by mining activities, such as sterile waste piles and mining slopes, show, in most cases, substrates with low availability of nutrients and organic matter. In order to revegetate and prevent soil erosion in these areas, it is necessary the use of plants that grow fast to cover the soil, which need to have high capacity to incorporate carbon (C), propagation easiness and high occurrence in the nearby communities (native species). Thus, we aimed to assess the growth of native species as a function of nitrogen (N) availability in substrates from mining areas in Carajás that will be revegetated. We selected the native species *Paspalum cinerascens* and *Axonopus longispicus* for propagation and growth, since they are the most common in the canga formations of Serra dos Carajás, which are the iron mining sites in the region. The study lasted 110 days of cultivation and it was divided into three intervals of N application, using urea as the N source ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ), which were organized into four N levels (0, 40, 80 e 200). The analyzed variables were root and aerial biomass, gas exchanges, leaf pigment content, leaf anatomy, and nutritional composition of the aerial parts. Both native Gramineae showed potential for vegetative propagation by tiller separation. However, the growth rate for the *A. longispicus* was not influenced by the increase in N availability, whereas it significantly improved the growth rate for the *P. cinerascens*. The capacity to incorporate carbon doubled for this species, resulting in a biomass accumulation that was three times higher than the control treatment. Furthermore, physiological adjustments, such as the decrease in the number of stomata in the cellular epidermis, resulted in increases in conductance and control of the opening rate, due to increases in the polar and equatorial diameters, which enabled a higher water use efficiency. Therefore, both species show high potential for use in the revegetation of mining areas in Carajás. The *P. cinerascens* showed improved growth rate after pH correction, fertilization and application of 80 mg of N per  $\text{dm}^{-3}$  of sterile red substrate, whereas the *A. longispicus* showed a high rate of tiller survival, even though further studies are necessary to improve the biomass production for this species.

**Keywords:** Gramineae. Mining. Recovering of Degraded Areas.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
2.1	RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS (RAD), MINERAÇÃO E CANGA .....	11
2.2	USO DE GRAMÍNEAS NATIVAS NA RAD .....	12
2.3	FERTILIZAÇÃO NITROGENADA .....	14
<b>3</b>	<b>PROBLEMÁTICA</b> .....	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
4.1	OBJETIVO GERAL.....	17
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>18</b>
5.1	MATERIAL VEGETAL.....	18
5.2	CONDIÇÕES DE CULTIVO .....	19
<b>5.2.1</b>	<b>Substrato</b> .....	<b>19</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Propagação vegetativa</b> .....	<b>19</b>
5.3	ADIÇÃO DE NITROGÊNIO AO SUBSTRATO ESTÉRIL VERMELHO .....	20
5.4	CONDIÇÕES DE CULTIVO .....	20
<b>5.4.1</b>	<b>Teor de Pigmentos</b> .....	<b>21</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Anatomia foliar</b> .....	<b>22</b>
5.5	ANÁLISE DE DADOS.....	22
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>39</b>
	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Fragmentação e alteração de ambientes naturais estão entre as maiores causas de perda de biodiversidade no mundo. Dado o estado de degradação dos ecossistemas naturais no mundo, é imprescindível a adoção de medidas de manutenção da biodiversidade, tais como conservação, proteção e recuperação. Mais de 15% dos solos do mundo encontram-se degradados ou em processo de degradação. Na região tropical, mais da metade dos solos possuem algum grau de degradação. Em determinadas áreas, como as degradadas pela mineração na região de Carajás, a recuperação enfrenta barreiras relacionadas a fatores como a alteração da topografia, falta de matéria orgânica (MO), elevadas temperaturas e período de forte restrição hídrica, assim como alta radiação.

A recomposição da vegetação das áreas degradadas deve ocorrer de acordo com as características bióticas e abióticas da área. A mineração em Carajás ocorre em áreas cobertas por uma vegetação típica de campo rupestre ferruginoso, conhecida como canga. A vegetação dos diferentes corpos de canga possui cerca de 1094 espécies nativas, porém, poucas são empregadas com sucesso no processo de recuperação de áreas degradadas (RAD) devido ao reduzido conhecimento disponível sobre estas espécies, sobretudo à ausência de protocolos de propagação e cultivo.

A família Poaceae, com 87 espécies nas cangas de Carajás, comporta elevado número de espécies com metabolismo C4, as quais são conhecidas por sua elevada capacidade de fixação de carbono (C) e crescimento rápido, assim como por apresentarem sistema radicular fasciculado e parte aérea com crescimento cespitoso, contribuindo para o controle de processos erosivos. Estas espécies são capazes de colonizar vastas áreas, incluindo regiões com restrição hídrica e com incidência de altas temperaturas e intensa radiação. Em geral, espécies da família Poaceae apresentam características desejáveis para efetuar a RAD em Carajás. *Paspalum cinerascens* e *Axonopus longispicus* figuram entre as espécies que apresentam ampla ocorrência nos corpos de canga das serras Sul, Norte, Bocaina e Tarzan, cobrindo vastas áreas e com crescimento vigoroso. Observa-se, durante a estação chuvosa, o aparecimento de elevado número de perfilhos na base das touceiras logo com as

primeiras chuvas, sugerindo que as partes vegetativas destas espécies sobrevivem ao período de secas das cangas. Tais características são benéficas para a RAD, sobretudo em etapas iniciais, quando a revegetação para recobrimento rápido do solo é bastante importante para evitar problemas como erosão.

O nitrogênio (N) é um nutriente determinante para a produtividade dos ecossistemas. As áreas mineradas em Carajás apresentam MOS muito baixa, conseqüentemente, o teor de N no solo é limitante para o crescimento das plantas. A maior disponibilidade desse elemento para as plantas contribui para o ganho de produção, variando de acordo com a espécie. A maior absorção de N pode ser especialmente vantajosa em habitats onde há escassez nutricional no solo, estimulando o perfilhamento, o aumento da produção de biomassa e o crescimento do sistema radicular. No entanto, o conhecimento acerca da eficiência de fertilização nitrogenada em espécies nativas ainda é escasso. Estudos para determinação do requerimento e otimização da aplicação de N em espécies nativas com potencial para uso em RAD podem aumentar a eficiência da revegetação e trazendo ganhos ambientais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS (RAD), MINERAÇÃO E CANGA

A extração mineral está geralmente associada com fortes alterações da paisagem, envolvendo desflorestamento na área a ser minerada e suas adjacências, assim como pela geração de resíduos (SILVA, 2007). Essas alterações podem gerar diferentes níveis de impacto em função de fatores geográficos, método de lavra utilizado e o tipo de minério extraído (CARVALHO *et al.*, 2018; SILVA, 2007). Além disso, essas áreas apresentam condições ambientais extremas, caracterizadas pelo ressecamento do solo em decorrência da supressão vegetal e, em determinadas regiões como Carajás, exposição a altos índices de radiação solar e temperatura, podendo também conduzir à compactação do solo (ZAPPI *et al.*, 2018). A RAD tem sido amplamente utilizada para reverter a situação de um ecossistema degradado para um estado mais desejável, onde os serviços outrora prestados por dado ecossistema possam retornar (ZAPPI *et al.*, 2018).

É importante destacar que a mineração para extração de ferro (Fe) no Brasil ocorre principalmente em áreas de canga, termo usado para designar as fitofisionomias que crescem diretamente sobre afloramentos de rochas ferruginosas nos estados de Minas Gerais (Quadrilátero Ferrífero) e Pará (Serra dos Carajás) (SKIRYCZ *et al.*, 2014). Este ambiente possui condições ambientais caracterizadas pela alta exposição aos raios ultravioleta, altas temperaturas diárias, rápida perda de água e sazonalidade hídrica acentuada, ventos fortes e cobertura do solo pouco desenvolvida. Estas áreas suportam fitofisionomias distintas e apresentam alta diversidade de plantas, embora pouco se saiba sobre como a disponibilidade de nutrientes e água moldam esses ambientes (MITRE *et al.*, 2018). Associada a estas características, a alta concentração de ferro (Fe) na superfície requer o desenvolvimento de adaptações e a vegetação local apresenta um elevado grau de especialização e endemismo (MOTA *et al.*, 2015; SKIRYCZ *et al.*, 2014; ZAPPI *et al.*, 2018).

As cangas de Carajás possuem 87 espécies de gramíneas nativas, sendo que 52 espécies apresentam potencial de propagação seminífera (VIANA *et al.*, 2018). Algumas destas espécies possuem ocorrência generalizada em praticamente todos os corpos de canga, as quais formam touceiras grandes e ocupam grandes áreas abertas e crescem rapidamente em áreas da canga que sofreram interferências ou foram antropizadas (ZAPPI *et al.*, 2018). Estas espécies ainda não são empregadas em processo de revegetação devido ao reduzido conhecimento acerca de protocolos de propagação e cultivo, sobretudo a ausência de conhecimento sobre o crescimento destas espécies em áreas afetadas pela mineração, como as pilhas de estéril e taludes de cava de mina.

## 2.2 USO DE GRAMÍNEAS NATIVAS NA RAD

As áreas impactadas pela mineração apresentam, na maioria dos casos, substratos de baixa qualidade e baixa capacidade para o crescimento de plantas, ocasionadas pela redução dos teores e da qualidade da MO (ZAPPI *et al.*, 2018). A revegetação é uma técnica amplamente utilizada em áreas afetadas pela mineração para controle de erosão e manutenção do equilíbrio ecológico. O uso de espécies nativas, funcionalmente adaptadas a estas áreas, contribui para minimizar a perda de biodiversidade e recuperação dos serviços ecossistêmicos, bem como restauração da funcionalidade no ambiente (GASTAUER *et al.*, 2018; RAMOS *et al.*, 2019). Entretanto, isto requer conhecimento acerca de fatores como propagação, crescimento, requerimentos nutricionais e adaptação funcional das espécies, principalmente em áreas onde há necessidade de revegetação em larga escala. A revegetação destas áreas está normalmente associada a superação de desafios como a elevada acidez e baixa disponibilidade de matéria orgânica, nutrientes e organismos no solo (RAMOS *et al.*, 2019).

Uma revegetação bem-sucedida exige espécies com características como: crescimento rápido, a fim de promover rápida cobertura vegetal; raízes finas para contribuir com a formação de agregados estáveis no solo; adaptação a condições ambientais específicas, como altas temperaturas e restrição hídrica; facilidade de

propagação; ocorrência nas comunidades nativas próximas às que serão recuperadas; serem facilitadoras para a chegada de outras espécies (ZAPPI *et al.*, 2018). Um dos primeiros passos para a revegetação é a seleção das espécies mais adequadas para a reintrodução na área degradada. Neste processo, é recomendável a utilização de espécies nativas e, especificamente, aquelas que demonstrem o maior número de características que favoreçam a adaptação à área degradada (GIANNINI *et al.*, 2016).

Membros da família Poaceae apresentam altos escores de elegibilidade para aplicação em programas de revegetação e são consideradas adequadas para a utilização em áreas degradadas, potencializando o recobrimento rápido do solo, reduzindo a erosão, incorporando MO ao solo e aumentando a ciclagem de nutrientes (GIANNINI *et al.*, 2016; SHIRASUNA, FILGUEIRAS & BARBOSA, 2013; ZAPPI *et al.*, 2018). Poaceae, sobretudo espécies que possuem metabolismo do tipo C4, apresentam altas taxas de fixação de carbono e elevada eficiência de uso da água, ou seja, consomem menos água por unidade de carbono fixada. Estas espécies geralmente estão adaptadas a ambientes com elevadas temperaturas e radiação solar, portanto colonizam áreas com menor disponibilidade hídrica e forte exposição a fatores ambientais estressantes, como as encontradas em áreas mineradas que requerem revegetação (GIANNINI *et al.*, 2016; NUNES, 2009).

Duas espécies de Poaceae nativas das cangas de Carajás, apresentam ocorrência generalizada em praticamente todos os platôs recobrando grandes áreas, sendo: *Paspalum cinerascens* (Döll) A.G.Burm. & C.N.Bastos (Poaceae) e *Axonopus longispicus* (Döll) Kuhl (Poaceae). Apesar de estudos sugerindo que ambas as espécies toleram seca e crescem em ambientes inóspitos (DELFINI *et al.*, 2018; OLIVEIRA; VALLS, 2015), ainda não são encontrados estudos de propagação e cultivo para as mesmas, sendo estes fatores limitantes para uso em projetos de RAD.

O *Paspalum cinerascens* (Döll) A.G.Burm. & C.N.Bastos é uma espécie que se destaca entre as gramíneas por apresentar ampla distribuição no ambiente rupestre da região de Carajás, sendo registrada na Serra Norte (N1, N2 N3 e N6), Serra Sul (S11A, S11C e S11D), Serra da Bocaina e do Tarzan, em fitofisionomias de canga aberta, arbustiva e capões com incidência de radiação no sub-bosque (ICMBIO, 2016;

MOTA *et al.*, 2015). O *P. cinerascens* é uma planta perene, cespitosa, com rizomas curtos e imperceptíveis, podendo chegar a 180 cm de altura. Possui lâminas linear-lanceoladas, planas, glabras a pubescentes em ambas as faces. Esta gramínea apresenta sinflorescências com ramos, alternos, sinflorescências axilares presentes ou não, pedicelos estrigosos, espiguetas elípticas. Além disso, ela possui a gluma superior e lema inferior fortemente reticulados na porção distal, o que a diferencia das demais espécies desta área (BURMAN; BASTOS, 1988; VIANA *et al.*, 2018). Esta espécie possui grande número de raízes, sobrevive a longos períodos de seca nas cangas e apresenta rápido crescimento durante o período chuvoso.

O *Axonopus longispicus* também possui ampla ocorrência nas formações de canga na Serra de Carajás, sendo registrada na Serra Norte (N1, N2, N3, N4, N5 e N6), Serra Sul (S11D), Serra da Bocaina, Serra do Tarzan e Serra Arqueada, em canga aberta e arbustiva (MOTA *et al.*, 2018; VIANA *et al.*, 2018). Possui uma estrutura morfológica similar à de *A. leptostachyus* (Flüggé) Hitchc., embora possa ser reconhecida principalmente pelo número de ramos nas inflorescências (4–6 vs. 5–20 em *A. leptostachyus*) e coloração do antécio superior (palhete vs. castanho em *A. leptostachyus*) (VIANA *et al.*, 2018). O *A. longispicus* é uma planta perene, cespitosa, com colmos de 45 – 80 cm de comprimento e nós pubescentes. É uma espécie que possui bainhas foliares de 2 a 12 cm de comprimento, glabras; lígula curto-ciliada, lâminas lineares, planas a conduplicadas, glabras em ambas as faces, base reta, ápice acuminado. As Inflorescências apresentam ramos alternos, os superiores conjugados ou subconjugados, glabra a esparsamente pilosa, pedicelo glabro a piloso. Quanto às espiguetas, estas são oblongas, com gluma superior mais longa que o antécio superior, nervada, com tricomas esbranquiçados na base e ao longo das nervuras, nervura central presente; antécio superior oblongo, com um tufo de tricomas no ápice e palhete (KUHLMANN, 1922).

### 2.3 FERTILIZAÇÃO NITROGENADA

O N é um dos nutrientes mais limitantes ao crescimento de plantas, principalmente em solos com baixa MO. Este nutriente exerce função estrutural, sendo

constituente de proteínas, DNA, RNA, clorofilas e precursor de hormônios (BIGOLIN, 2018; MALAVOLTA, 2006; SCHIAVO, 2005). Juntamente com a disponibilidade hídrica, a produção primária dos ecossistemas é fortemente associada a disponibilidade de N. Este nutriente está diretamente associado à capacidade de fixação de carbono via fotossíntese, assim como determinante da ciclagem deste e demais nutrientes no solo (MITRE *et al.*, 2018). A composição e riqueza de microrganismos no solo também está associada ao N, elemento que apresenta alto custo de aquisição pelos vegetais, portanto apresenta ciclagem interna, sobretudo em ambientes pobres em N ou em MO (MALAVOLTA, 2006; MARTINS *et al.*, 2003).

As gramíneas geralmente apresentam ganho de biomassa em resposta ao aumento da disponibilidade de N (MENEGATTI *et al.*, 2002), estimulando o perfilhamento, crescimento inicial e do sistema radicular e a maior absorção dos demais nutrientes (CAMINHA *et al.* 2010; HERNANDES *et al.*, 2010), conseqüentemente, aumentando a produção de biomassa e estruturas de propagação (BEZERRA *et al.*, 2019).

A aplicação de N pode contribuir com o incremento do sistema radicular, facilitando a absorção de água e nutrientes, podendo ser muito vantajoso em ambientes onde há escassez nutricional no solo (AERTS, 1996; SCHIAVO, 2005), como as áreas a serem recuperadas, as quais possuem substratos pobres em nutrientes e a quase ausência de MO (GRAHAM; VANCE, 2000). Em *Brachiaria arrecta* (sin. *Urochloa arrecta*), a adição de N ao substrato (0, 80, 100, 150 e 200 kg N ha<sup>-1</sup>) aumentou significativamente a altura das plantas, largura e número de folhas, a produção de matéria fresca e seca total após 90 dias de aplicação (VIEJO, 2019). O maior rendimento foi obtido com a aplicação da mais alta dose de N (200 kg N ha<sup>-1</sup>). Todavia, outros estudos com Poaceae mostram que o aumento no número de perfilhos com a aplicação de N não está diretamente associada a maior produção de sementes, uma vez o número elevado de perfilhos pode aumentar o aborto ou mal enchimento dos grãos (SAHU; KARIALI; MOHAPATRA, 2004).

### 3 PROBLEMÁTICA

A revegetação é essencial para o retorno dos serviços outrora prestados pelo ecossistema. As áreas impactadas pela mineração apresentam, geralmente, substratos com baixa disponibilidade de nutrientes e MO, portanto, há a necessidade de uso de plantas com crescimento rápido e maior incorporação de C, facilidade de propagação e ocorrência nas comunidades nativas. Poaceae desempenham papel ecológico importante no recobrimento do solo, ciclagem de nutrientes e estabilização de substratos. As espécies *Axonopus longispicus* e *Paspalum cinerascens* são comumente encontradas e apresentam ampla distribuição nas formações de canga nas Serras de Carajás. No entanto, a insuficiência de informações sobre a propagação e cultivo em áreas degradadas pela mineração limitam o emprego destas espécies nativas.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o crescimento de *Axonopus longispicus* e *Paspalum cinerascens* (Poaceae) em função da adição de N em substrato de áreas de mineração em Carajás.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

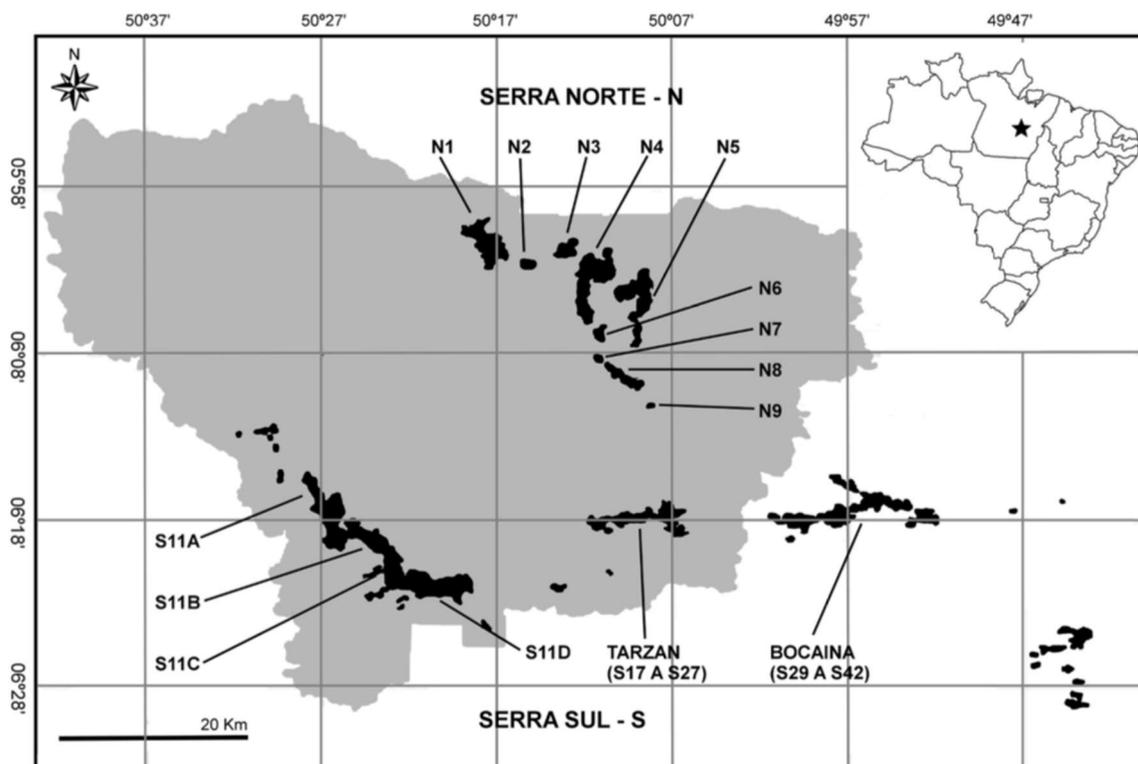
- Verificar o potencial de propagação das espécies *Axonopus longispicus* e *Paspalum cinerascens* por via vegetativa;
- Avaliar o requerimento de N para as espécies *Axonopus longispicus* e *Paspalum cinerascens* em substrato de área de mineração a ser revegetado em Carajás.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 MATERIAL VEGETAL

Touceiras de *Paspalum cinerascens* e o *Axonopus longispicus* foram coletadas nos corpos de canga N1 e N2 da Serra dos Carajás/PA no interior na FLONA de Carajás (Fig.1). Após coleta em campo, as raízes foram envoltas em papel umedecido até serem transferidos para o Laboratório de Cultivo de Plantas do Instituto Tecnológico Vale (ITV) em Belém.

**Figura 1** – Área de estudo evidenciando os platôs de canga das Serras dos Carajás. Limites da FLONA Carajás (cinza) e identificação dos principais afloramentos / platôs de canga (preto) na área de estudos.



Fonte: Viana *et al.*, 2016.

## 5.2 CONDIÇÕES DE CULTIVO

### 5.2.1 Substrato

O substrato empregado no estudo foi o estéril vermelho, substrato comumente encontrado como resíduo das minas do Complexo Mineral de Carajás. O substrato foi coletado em área de mineração na Serra Norte e a descrição da composição física e química encontra-se na Tabela 1. Devido ao seu baixo valor da saturação de bases inicial, foi realizada calagem para elevação a 50%. Foi adicionado calcário dolomítico com Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 95%. O substrato foi umedecido e incubado por 40 dias antes da aplicação dos demais nutrientes.

**Tabela 1** – Caracterização física e química do substrato utilizado no experimento.

Argila	Silte	Areia	pH (H <sub>2</sub> O)	P	K	S	Ca	Mg	Al	B	Zn	Fe	Mn	Cu	CTC	V	MO
				mg dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>				cmolc dm <sup>-3</sup>	%	dag/kg			
17	12.7	70.3	5.1	14.8	8.1	92.5	0.2	0.1	<0.1	0.2	1.7	76.2	5.5	0.3	2.1	10	0.4

A adubação foi realizada conforme recomendada para o cultivo de plantas em vasos (MALAVOLTA, 1980; BOTREL; NOVAES; ALVIM, 1998). Esta foi composta por 200 mg P dm<sup>-3</sup> (Na<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>O); 100 mg K dm<sup>-3</sup> (KCl); 60 mg S dm<sup>-3</sup>; 0.5 mg B dm<sup>-3</sup> (H<sub>3</sub>Bo<sub>3</sub>); 5 mg Zn dm<sup>-3</sup> (ZnSO<sub>4</sub> 7.H<sub>2</sub>O); 1.5 mg Cu dm<sup>-3</sup> (CuSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O); 0.15 mg Mo dm<sup>-3</sup> ((NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> .4.H<sub>2</sub>O), utilizando reagentes SIGMA - ALDRICH. Devido ao elevado teor de Fe no substrato (Tabela 1), não foi necessário fazer adição deste nutriente (LUZ; FERREIRA; BEZERRA, 2002).

### 5.2.2 Propagação vegetativa

Touceiras de *P. cinerascens* e *A. longispicus* coletadas em campo foram transferidas para o ITV em Belém/PA. Em laboratório, os perfilhos foram individualizados e a base enterrada em bandejas com células individuais e substrato

orgânico tipo Jiffy-7<sup>®</sup>. O substrato foi mantido úmido com reposição diária de água. As bandejas com os perfilhos foram levadas para câmara de crescimento tipo Fitotron<sup>®</sup>, onde a temperatura e umidade relativa do ar foram mantidas em 25°C e 75%, respectivamente. O fotoperíodo foi mantido em 12:12h com radiação de aproximadamente 50  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  por 30 dias, até o aparecimento de novas raízes e crescimento da parte aérea. Foram preparadas cinco repetições com 20 plantas cada, totalizando 100 perfilhos de cada espécie.

### 5.3 ADIÇÃO DE NITROGÊNIO AO SUBSTRATO ESTÉRIL VERMELHO

O estudo foi realizado em casa de vegetação, com o substrato estéril vermelho (Tabela 1) em vasos com volume de 2,3 dm<sup>3</sup>, composto por quatro tratamentos, sendo: controle (sem aplicação de fertilizantes) e três com diferentes doses de N (40, 80 e 200 mg dm<sup>-3</sup>). A adição de N foi fracionada em 3 aplicações em intervalos de 30 dias, sendo utilizada ureia (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O, SIGMA - ALDRICH) como fonte de N. O estudo foi realizado com duas espécies (*P. cinerascens* e *A. longispicus*). Plantas obtidas do ensaio de propagação vegetativa foram usadas neste estudo, no total de oito repetições por tratamento. Aos 110 dias após plantio dos perfilhos, foram efetuadas avaliações de trocas gasosas, contagem do número de perfilhos por planta e coletados biomassa aérea e radicular. Amostras de folhas foram coletadas para determinação de área foliar específica, extração e quantificação de pigmentos, análise de nutrientes absorvidos e morfometria de estômatos. Amostras de raízes foram também coletadas para determinação de nutrientes absorvidos.

### 5.4 CONDIÇÕES DE CULTIVO

Durante o experimento a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) alcançou cerca de 1500 a 2500  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Temperatura e déficit de vapor de pressão foram monitorados ao longo de todo estudo utilizando um data logger (RHT10, Extech Instruments). A temperatura variou entre 25 e 30 °C e o déficit de pressão de vapor da atmosfera entre 0.4 e 1.5 kPa. A disponibilidade de água foi mantida em 70% da

capacidade de retenção de água no solo, substituindo a água evaporada por água destilada após o monitoramento diário do peso do vaso.

As trocas gasosas foram medidas em folhas totalmente desenvolvidas com um analisador de gás infravermelho (LI-6400XTR, LICOR, LINCOLN, NE, USA), equipado com uma fonte de luz artificial. As medidas foram realizadas em folhas completamente desenvolvidas, que apresentavam boas condições fitossanitárias e as áreas analisadas estavam localizadas no terço médio da planta, conforme recomendado por BELTRÃO *et al.* (2011). As avaliações foram realizadas entre 9:00 e 11:30 da manhã. As condições ambientais foram ajustadas para  $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para a densidade do fluxo de fótons (PPFD), temperatura do bloco de  $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T^a$ ), concentração de  $\text{CO}_2$  de 400 ppm e déficit de vapor de pressão (VPD) entre 1.8 – 2.0 kPa.

Biomassa aérea (BA) e radicular (BR) foram quantificadas separadamente ao encerramento do estudo. Folhas frescas foram coletadas e digitalizadas para medir a área foliar específica (SLA) por meio do software ImageJ (SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012). O material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada de ar a  $60^{\circ}\text{C}$  até a obtenção de um peso constante para obter o peso da matéria seca (WANG *et al.*, 2018). Assim, a área específica foi calculada como a razão entre área fresca e massa seca (SCALON; WRIGHT; FRANCO, 2017). Raízes e folhas secas de cada tratamento foram usados para determinação de macro e micronutrientes.

#### **5.4.1 Teor de Pigmentos**

Amostras coletadas de folhas totalmente desenvolvidas foram usadas para quantificar a concentração de pigmentos. Durante a coleta, as amostras foram congeladas rapidamente em nitrogênio líquido em menos de 30s após e posteriormente armazenadas em freezer a  $-80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . O procedimento de extração foi realizado no escuro para evitar a degradação dos pigmentos. O material foliar foi macerado com a adição de N líquido e, posteriormente adicionado 10 mL de acetona 90% (SIGMA ALDRICH). Após 24 horas, foram levados para centrifuga (EPPENDORF CENTRIFUGE 5810 R, ROTOR A-4-81, HAMBURG, GERMANY) a temperatura de  $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$  por um período de 20 minutos a 3000 rpm e usada uma alíquota

do sobrenadante de 2 mL. As curvas padrão para clorofila *a* (Chla) e *b* (Chlb) foram preparadas em duplicata de 0,1 mg/mL de acetona 90% (Sigma Aldrich). A absorvância foi determinada em comprimentos de onda de 480 nm, 510 nm, 630 nm, 647 nm, 664 nm, 665 nm (com e sem ácido) e 750 nm (com ácido) com o uso do espectrofotômetro (BIOCHROM LIBRA MODEL S80, CAMBRIDGE, ENGLAND). A partir das leituras obtidas foi possível determinar o teor das Chla e Chlb (BELTRÃO *et al.*, 2011) e a concentração de carotenoides (Car) utilizando equações propostas por Wellburn (1994).

#### **5.4.2 Anatomia foliar**

Amostras de folhas frescas foram coletadas e fixadas em FAA 70% (formaldeído, ácido acético glacial e etanol 70% 1:18:1) por 72 horas, em seguida, foram transferidas para solução de álcool etílico a 70% (JOHANSEN, 1940). Para determinação da densidade estomática das faces adaxial e abaxial, foram realizadas impressões em adesivo universal (Super Bond) (SEGATTO *et al.*, 2004). Foram confeccionadas 5 impressões anatômicas de cada face da folha para cada amostra/repetição. Em cada face da folha foram avaliadas 4 áreas de 0,23 mm<sup>2</sup>, onde foram contabilizados o número de estômatos, bem como o diâmetro polar e equatorial dos mesmos. As imagens obtidas do material foram digitalizadas nas lâminas, através do microscópio Zeiss Axio Cam MRm com câmera (AXIOCAM MRC 5) acoplada a um computador. As fotomicrografias foram registradas com auxílio do software Axiovision SE64.

#### **5.5 ANÁLISE DE DADOS**

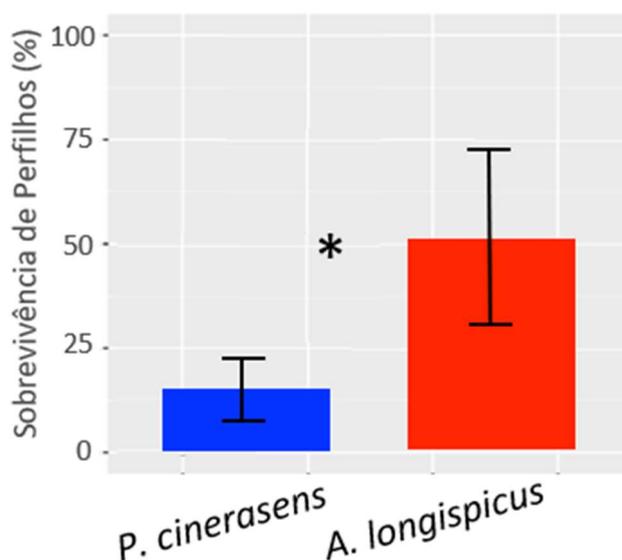
Os dados foram analisados através do ambiente de programação R (versão R 3.6.1), no qual foram usados os pacotes: lme4, lmerTest, nlme, MuMIn, effects, ggplot2, gridExtra, ISLR, dplyr, ggthemes para realização de ajustes, análises de regressão e preparo de figuras. As informações coletadas também foram submetidas à análise de variância (ANOVA) após verificar distribuição normal de variáveis por

meio do teste W (Shapiro-Wilk). Para comparações de médias, foi aplicado o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade para comparação de médias dos fatores espécies e análise de regressão para a adição de N ao substrato.

## 6 RESULTADOS

A propagação vegetativa levou à obtenção de perfilhos para as duas espécies. A sobrevivência dos perfilhos de *A. longispicus* foi significativamente superior à sobrevivência de *P. cinerascens*, sendo aproximadamente duas vezes mais alta após 30 dias de transplante para substrato orgânico em condições controladas (Fig. 2).

**Figura 2** – Taxa de sobrevivência de perfilhos de *Axonopus longispicus* de *Paspalum cinerascens* em condições controladas. \* representa a observação de diferença significativa entre as médias após teste t de Student em  $P < 0,01$ .

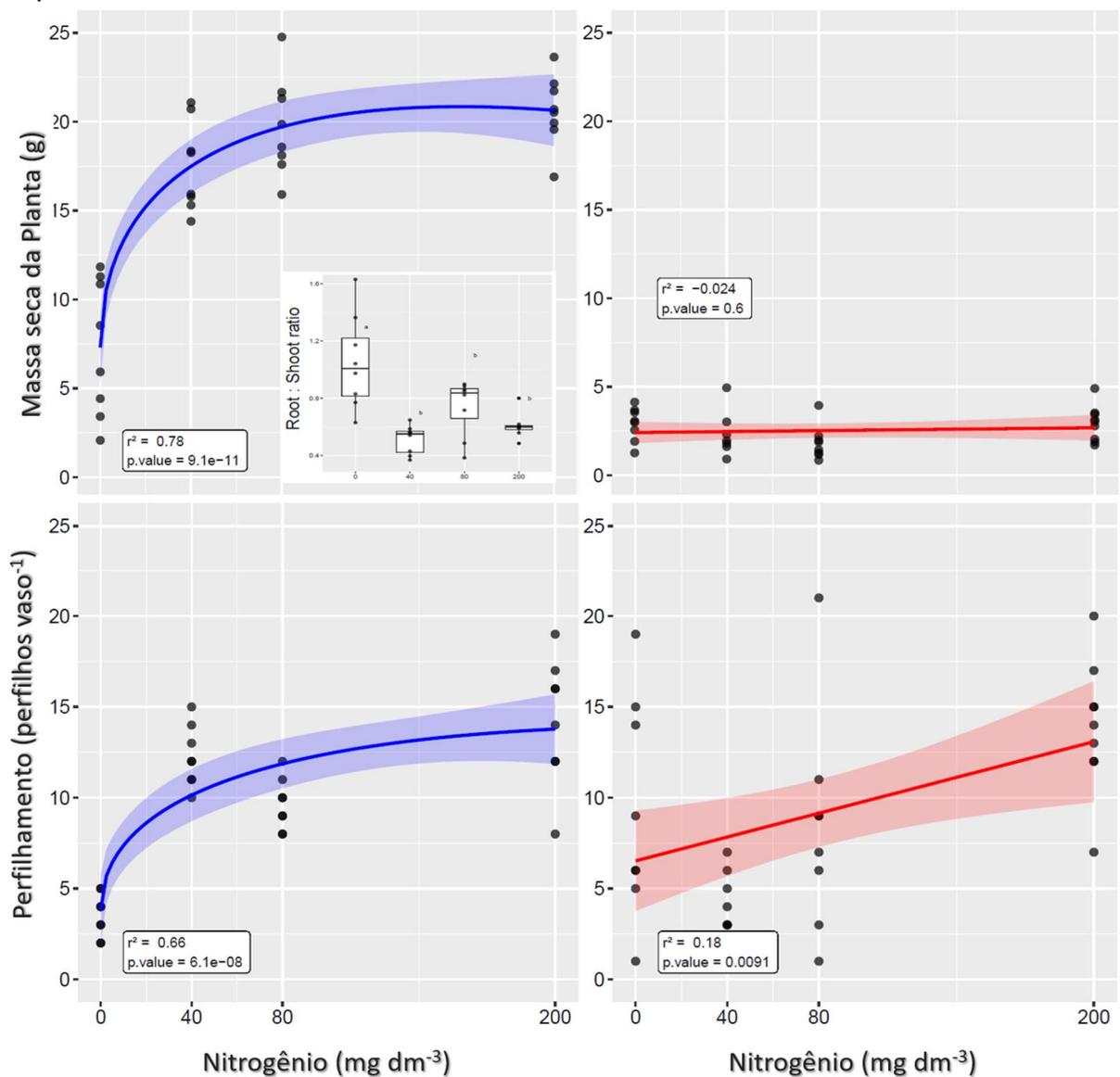


**Fonte:** Próprio autor, 2020.

A adição de N ao substrato estéril de mineração aumentou significativamente o crescimento do *P. cinerascens* (Fig. 3A e B), embora não tenha alterado o ganho de biomassa e trocas gasosas de *A. longispicus* (Fig. 3C e 4C e D). Em geral, mesmo a aplicação de baixas quantidades de N ao substrato levou ao aumento da capacidade de fixação de CO<sub>2</sub> e ganho de biomassa para o *P. cinerascens*. Para ambas as variáveis, os valores máximos foram obtidos quando da aplicação de aproximadamente 80 mg dm<sup>-3</sup> de N (fotossíntese = 86.68 e biomassa = 73.69 mg dm<sup>-3</sup> de N, Fig. 3A). A partir destas quantidades de N aplicadas ao solo, a taxa fotossintética e biomassa aumentaram cerca de 2x e 3x comparadas com o tratamento

controle, onde não houve adição de N ao substrato. De forma similar, tanto a taxa de perfilhamento quanto a condutância estomática seguiram o mesmo padrão, havendo forte ganho a partir de baixas doses de N (Fig. 3B e 4B). Os resultados e modelos de regressão para as variáveis mensuradas nas duas espécies são mostrados na Tab. 2.

**Figura 3** – Biomassa aérea e taxa de perfilhamento para o *P. cinerascens* (A e B) e *A. longispicus* (C e D) com a adição de N ao substrato estéril vermelho oriundo da mineração em Carajás. Boxplots no interior das figuras A e C representam a razão entre a biomassa da raiz: parte aérea para as espécies *P. cinerascens* e *A. longispicus*, respectivamente.



Fonte: Próprio autor, 2020.

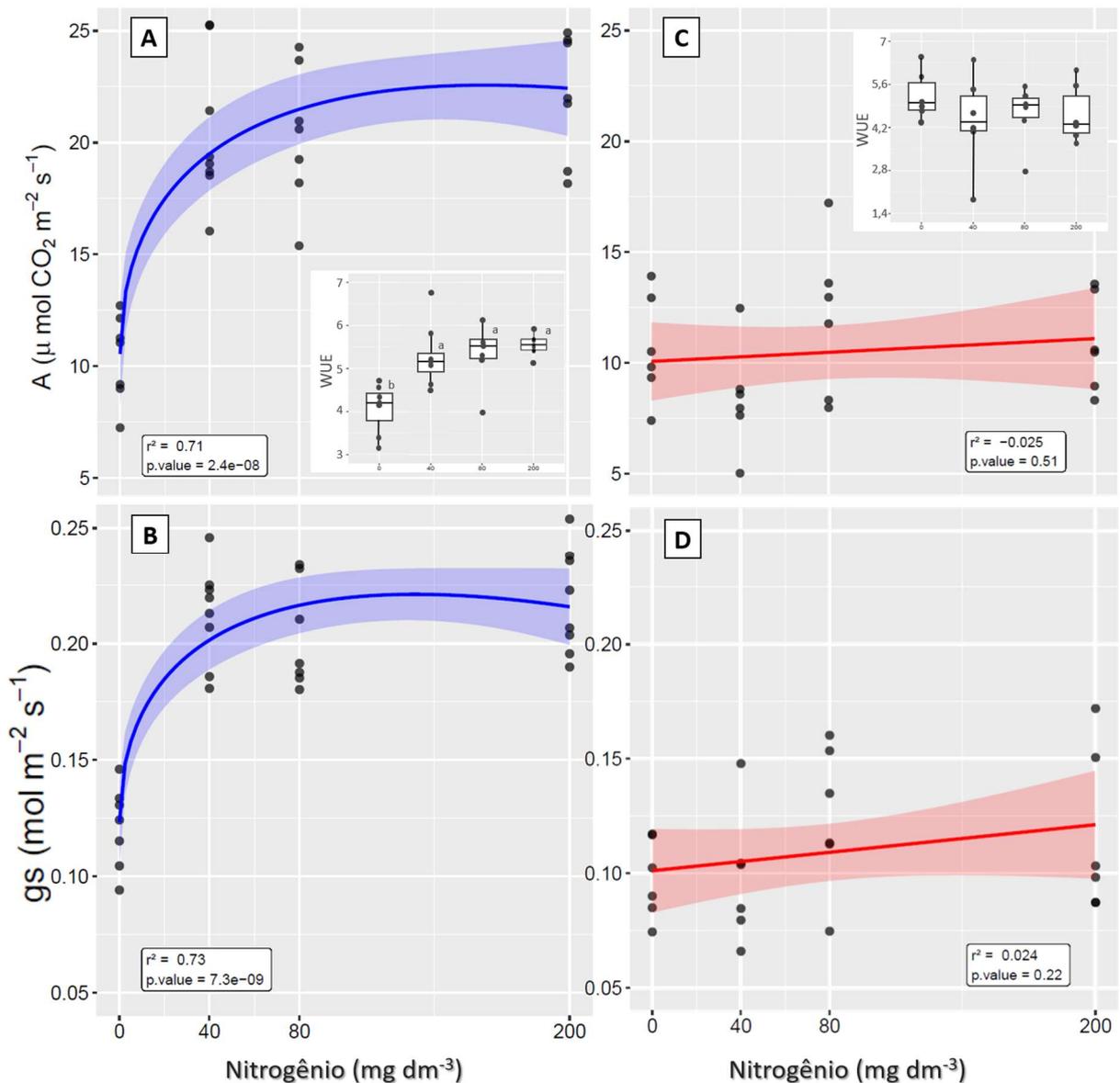
**Tabela 2** – Resultados de modelos de regressão para as variáveis mensuradas nas duas espécies.

<b>Espécie</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Modelos</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<i>P. cinerascens</i>	Plant dry mass (g)	$Y = -0.08545 x^{***} + 2.15228^{***} x^{0.5} + 7.2975^{***}$	0.78
	Perfilhos	$Y = 6.81548^{***} + 0.05179^{***} x$	0.66
	Fotossíntese ( $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$Y = -0.1108 x^{**} + 2.3178^{***} x^{0.5} + 10.9779^{***}$	0.71
	Condutância ( $\mu\text{molH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$Y = -0.001283 x^{***} + 0.021567^{***} x^{0.5} + 0.14585^{***}$	0.73
	Clorofila a ( $\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$ )	$Y = 2.499e^{-03^{***}} + 1.331e^{-05} x^{***}$	0.247
	Clorofila b ( $\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$ )	$Y = 4.352e^{-03^{***}} + 1.216e^{-05} x^{***}$	0.0423
	Carotenoides ( $\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$ )	$Y = 2.499e^{-03^{***}} + 1.331e^{-05} x^{***}$	0.0577
<i>A. longispicus</i>	Plant dry mass (g)	$Y = 2.4203 + 0.001338 x$	-0.024
	Perfilhos	$Y = 8.26301^{***} + 0.03345 x$	0.18
	Fotossíntese ( $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$Y = 10.804752 + 0.004187 x$	-0.025
	Condutância ( $\mu\text{molH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$Y = 0.1037514 + 0.0001169 x$	0.024
	Clorofila a ( $\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$ )	$Y = 1.683e^{-03^{**}} + 6.650e^{-06} x$	0.228
	Clorofila b ( $\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$ )	$Y = 1.905e^{-03^{***}} + 1.195e^{-05} x$	0.0227
	Carotenoides ( $\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$ )	$Y = 8.364e^{-04^*} + 3.863e^{-06} x$	0.0663

A alocação de biomassa entre raiz e parte aérea, assim como a eficiência de uso da água (WUE – do inglês Water Use Efficiency) pelas plantas de *P. cinerascens* foram alteradas pela maior aplicação de N, contribuindo com a maior capacidade de absorção de água e aumento da eficiência de uso. Maior investimento em parte aérea, concomitante com maior eficiência de uso da água foram observados a partir da aplicação de  $40 \text{ mg dm}^{-3}$  de N ao substrato (boxplots no interior das Figs. 3A e 4A).

Estas razões não foram significativamente alteradas em doses superiores a 40 mg  $\text{dm}^{-3}$  de N no substrato.

**Figura 4** – Taxa fotossintética (assimilação de carbono) e condutância estomática para o *P. cinerascens* (A e B) e *A. longispicus* (C e D) com a adição de N ao substrato estéril vermelho oriundo da mineração em Carajás. Boxplots no interior das figuras A e C representam a eficiência de uso da água para as espécies *P. cinerascens* e *A. longispicus*, respectivamente.



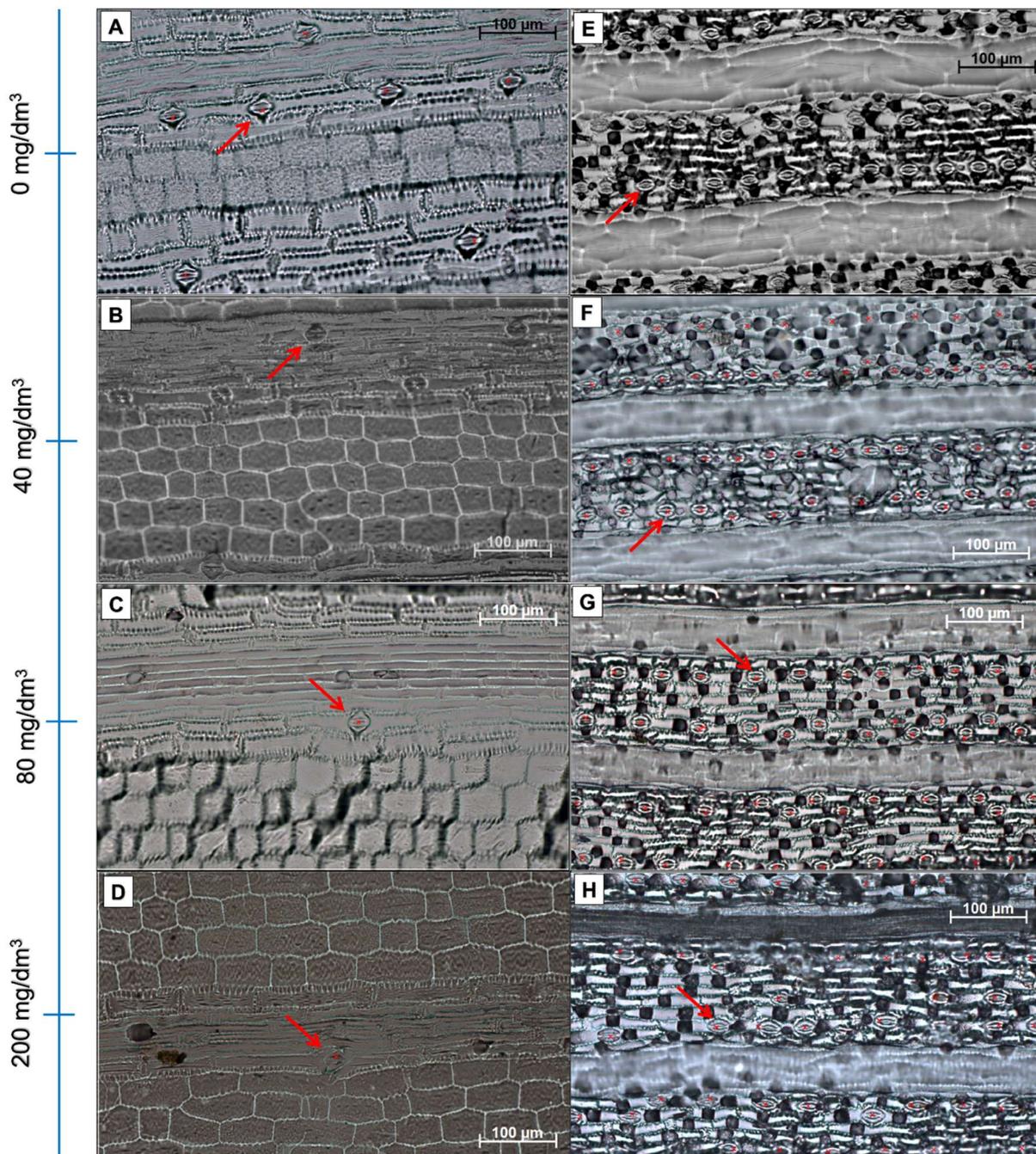
Fonte: Próprio autor, 2020.

O *A. longispicus*, apesar de apresentar taxa fotossintética e acúmulo de biomassa similar ao *P. cinerascens* no tratamento controle, a adição de N ao substrato não alterou a WUE e a razão raiz: parte aérea (boxplots no interior das Figs. 3C e 4C). Por outro lado, vale destacar o aumento linear na taxa de perfilhamento desta espécie com a adição de N (Fig. 3C), diferente do observado para o *P. cinerascens* (Fig. 3B).

A distribuição da frequência ou densidade estomática nas duas faces da folha (abaxial e adaxial) difere entre as duas espécies. Enquanto o *P. cinerascens* apresenta até cerca de 20x mais estômatos na parte inferior da folha (face abaxial) e, portanto, de classificação anfi-hipoestomática (Fig. 5), o número de estômatos entre as duas faces das folhas de *A. longispicus* apresenta razão próximo de 1, ou seja, possui distribuição anfiestomática (Fig. 6).

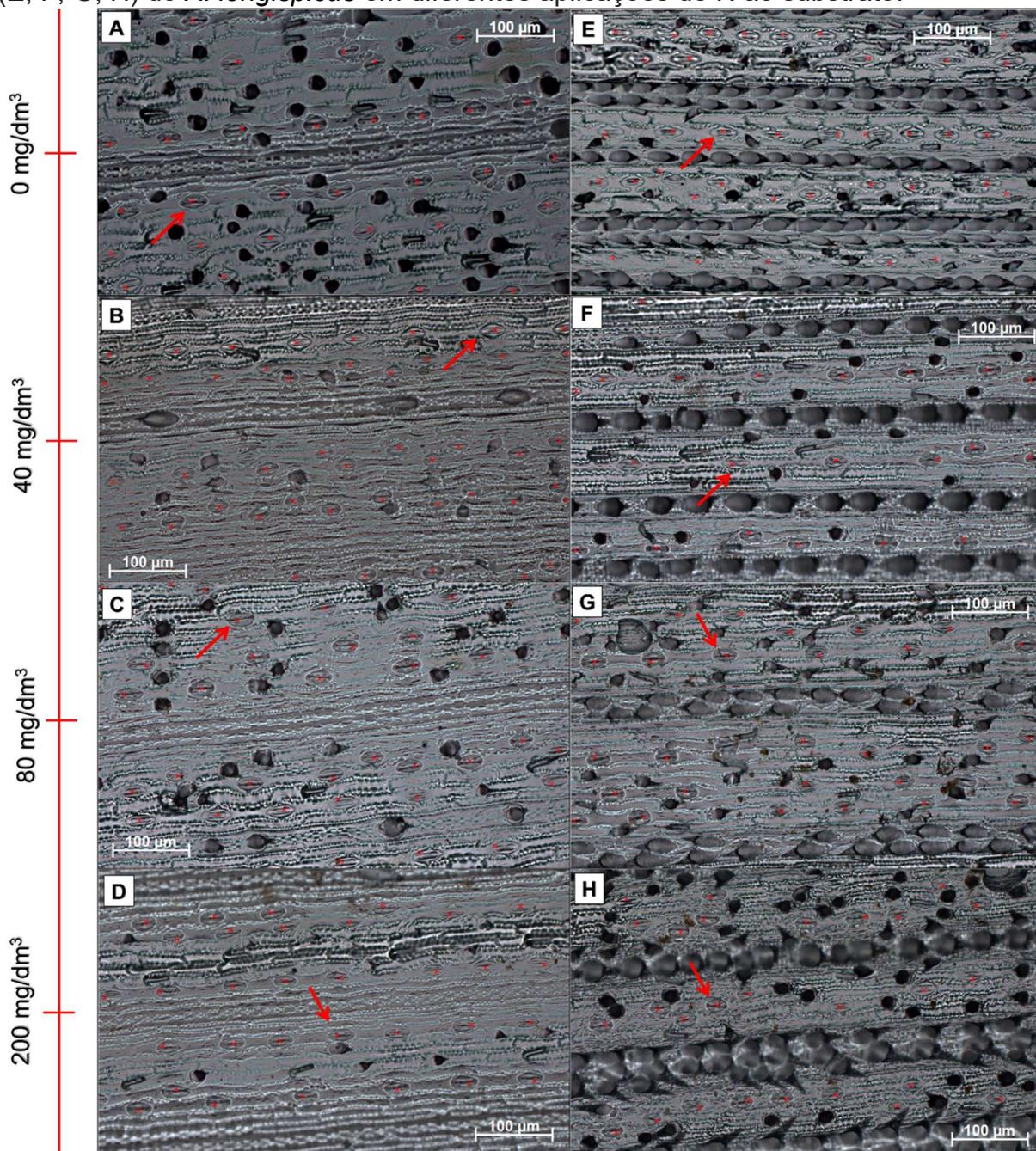
As duas espécies apresentam estômatos em formato de halteres, juntamente com suas células subsidiárias. Com a adição de N ao substrato, a densidade estomática adaxial do *Paspalum* não apresentou alteração, no entanto, para a face abaxial houve uma redução significativa de 21,93% no tratamento com 200 mg/dm<sup>3</sup> de N e, simultaneamente, houve um aumento no diâmetro polar e equatorial. De forma similar, foi observada uma redução significativa da densidade estomática da face abaxial de *A. longispicus* com a aplicação de 200 mg/dm<sup>3</sup> de N ao substrato, concomitante com a redução de diâmetro polar e equatorial dos mesmos. Por outro lado, observou-se aumento da densidade estomática quando 40 mg/dm<sup>3</sup> de N foram adicionados ao substrato.

**Figura 5** – Distribuição dos estômatos na superfície foliar adaxial (A, B, C, D) e abaxial (E, F, G, H) do *P. cinerascens* em diferentes aplicações de N ao substrato.



Fonte: Próprio autor, 2020.

**Figura 6** – Distribuição dos estômatos na superfície foliar adaxial (A, B, C, D) e abaxial (E, F, G, H) do *A. longispicus* em diferentes aplicações de N ao substrato.

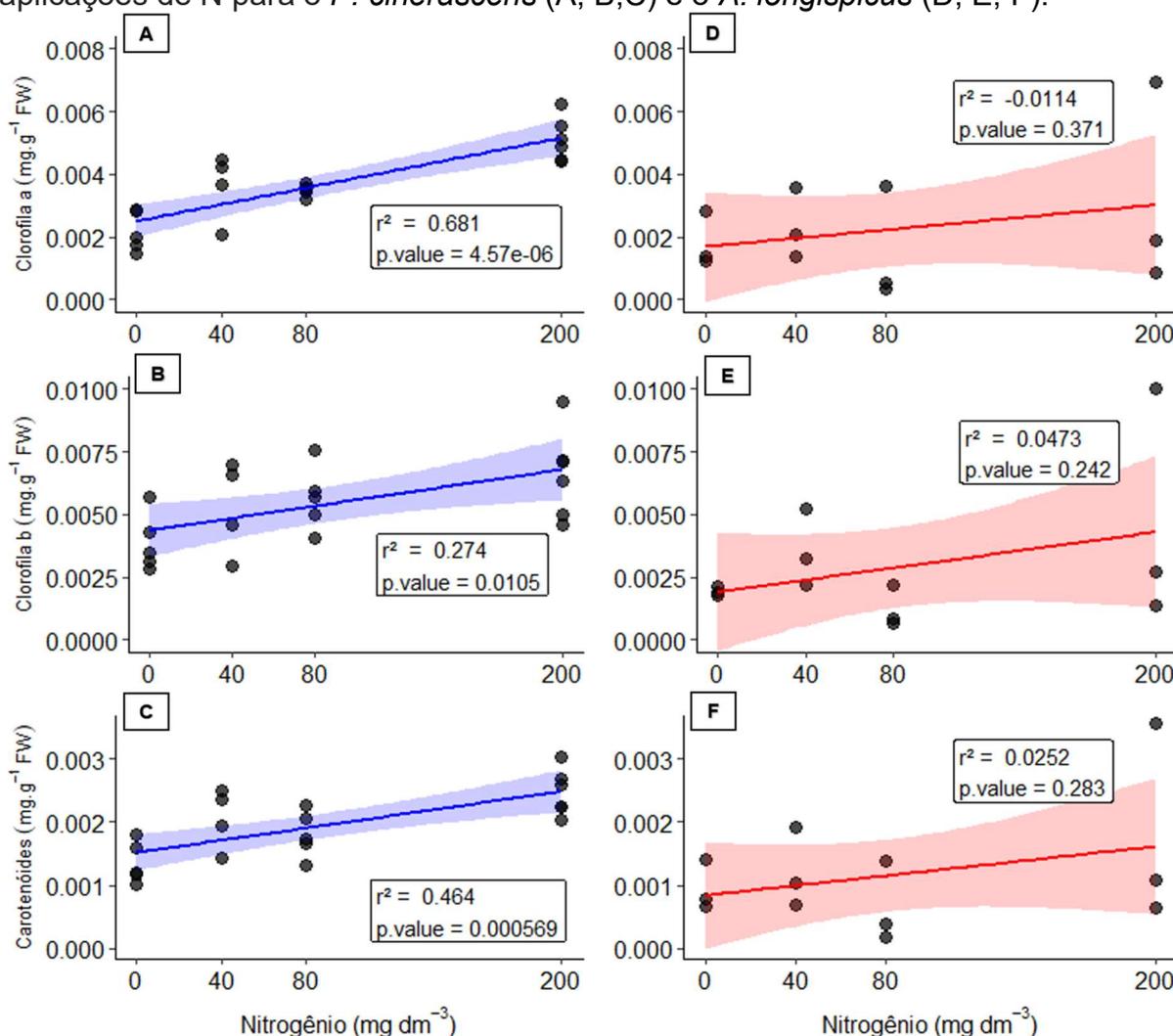


Fonte: Próprio autor, 2020.

O aumento da aplicação de N no substrato levou aumento linear da concentração de pigmentos (clorofilas *a* e *b*, carotenoides totais) nas folhas de *P. cinerascens* (Figs. 7A, 7B e 7C). Este aumento é notável para clorofila *a*, onde a concentração na dose de 200 mg de N por dm<sup>3</sup> de substrato alcançou valores

superiores a 2x aos obtidos em plantas mantidas em condições controle (0 mg de N por  $\text{dm}^3$  de substrato). Assim como observado para trocas gasosas e biomassa total, a adição de N ao substrato não alterou de forma significativa a concentração de pigmentos nas folhas de *A. longispicus* (Figs. 7D, 7E e 7F).

**Figura 7** – Teor de clorofila *a* e *b* ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ ) e carotenóides ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ ) em diferentes aplicações de N para o *P. cinerascens* (A, B,C) e o *A. longispicus* (D, E, F).



Fonte: Próprio autor, 2020.

A concentração de nutrientes foliares apresentou poucas variações com o aumento de N no substrato (Tabela 4). Valores mais altos de N e Mg foram observados a partir da adição de  $40 \text{ mg dm}^{-3}$  de N, onde, mesmo o aumento da aplicação de N não resultou em aumento de concentração deste elemento nas folhas de *P.*

*cinerascens*. A tendência de aumento da concentração de N foliar também foi observada para o *A. longispicus*. Por outro lado, o aumento de N no substrato levou a diminuição da concentração de K. o Cu apresentou aumento de concentração apenas para a maior aplicação de N. De forma similar, o aumento na concentração de Cu também foi observado em plantas de *A. longispicus* no tratamento com aplicação de 200 mg dm<sup>-3</sup> de N.

**Tabela 3** – Concentração de nutrientes foliares das espécies nativas *Paspalum cinerascens* e *Axonopus longispicus* cultivados em substrato remanescente da mineração em Carajás (estéril vermelho).

	Doses (mg/dm <sup>3</sup> )	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g/kg							mg/kg			
<i>P. cinerascens</i>	0	4,61±0,95 b	0,66±0,22 a	10,65±1,84 a	2,22±0,21 a	0,97±0,24 b	3,56±0,63 a	11,14±3,16 a	6,99±2,28 b	1885,85±4086,83 a	159,41±49,08 a	29,10±16,51 a
	40	8,35±1,07 a	0,56±0,19 a	7,70±1,25 a	2,41±0,79 a	2,75±1,31 a	1,81±0,55 b	8,01±1,56 a	7,11±1,71 b	168,73±59,62 a	143,53±48,07 a	31,06±7,29 a
	80	6,82±1,53 ab	0,71±0,19 a	8,61±1,16 a	2,06±0,63 a	1,6±0,28 a	1,81±0,46 b	9,48±3,22 a	7,54±1,94 b	203,73±124,37 a	122,34±38,35 a	38,08±26,41 a
	200	7,25±1,77 a	0,61±0,09 a	6,44±1,09 b	1,82±0,48 a	1,99±0,61 a	1,21±0,16 b	8,11±1,90 a	15,32±5,53 a	150,52±29,64 a	130,72±40,18 a	23,68±5,32 a
<i>A. longispicus</i>	0	9,94±2,22 ab	0,52±0,23 a	8,88±1,28 a	1,88±0,36 a	2,24±0,43 a	2,88±0,76 a	8,45±1,19 a	9,91±3,75 b	443,81±303,27 a	285,29±127,71 a	29,01±5,41 a
	40	6,53±1,12 b	0,33±0,11 a	6,13±0,08 a	1,76±0,23 a	1,83±0,3 a	2,16±0,23 a	8,5±1,25 a	8,10±0,66 b	667,37±373,24 a	528,22±33,9 a	38,41±2,17 a
	80	11,4±0,97 a	0,72±0,36 a	11,24±3,67 a	1,98±0,37 a	2,26±0,45 a	3,44±1,49 a	10,84±3,59 a	8,91±2,87 b	353,05±68,79 a	401,44±77,85 a	34,13±5,29 a
	200	12,44±2,29 a	0,74±0,05 a	10,94±1,12 a	2,24±0,11 a	2,42±0,31 a	3,68±0,55 a	10,37±2,55 a	23,17±5,42 a	352,12±73,06 a	398,03±79,71 a	35,14±3,58 a

## 7 DISCUSSÃO

Por ser um dos nutrientes que mais limitam o crescimento das plantas em ecossistemas naturais (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2006; MALAVOLTA, 2006; MITHARE; GHOSH, 2019; SCHLICHTING, 2012; WANG *et al.*, 2018), a adição de N ao substrato estéril vermelho, oriundo da mineração em Carajás, levou a alterações fisiológicas que beneficiaram fortemente o crescimento de *P. cinerascens*, embora o mesmo efeito não tenha sido observado para as plantas de *A. longispicus*. Em substratos pobres em matéria orgânica, como o empregado neste estudo, a disponibilidade de N é normalmente reduzida (ALLEN *et al.*, 2005; SCHIAVO, 2005) e a aplicação de N sob a forma de fertilizantes pode ser uma alternativa para reduzir sua escassez e favorecer ao bom desenvolvimento da vegetação. O aumento da disponibilidade de N no substrato possibilitou que as plantas de *P. cinerascens* absorvessem mais N para síntese de uma maior quantidade de pigmentos fotossintetizantes e elevassem a capacidade de fixação de carbono. Apesar de o aumento linear dos pigmentos com a adição de N, a taxa de fotossíntese, e as demais variáveis de trocas gasosas, apresentaram o maior rendimento em quantidades inferiores a dose mais alta de N às plantas de *P. cinerascens*. Esta saturação da taxa fotossintética em doses iniciais de N ocorre devido a outras variáveis também afetarem tanto a assimilação quanto a distribuição do carbono no interior da planta. Por outro lado, a ausência de aumento significativo de pigmentos pelas plantas de *A. longispicus* fez com que as trocas gasosas e, conseqüentemente o ganho de biomassa, não apresentassem ganho com o aumento da disponibilidade de N no substrato.

Moléculas de carbono são como os blocos de construção para a estrutura dos vegetais. Juntamente com a turgescência celular (determinada pela razão entre a perda e a absorção de água), responsável pela pressão na parede e expansão dos tecidos, o carbono fixado pelo processo fotossintético determina o acúmulo de biomassa e crescimento dos vegetais (LAWLOR; CORNIC, 2002; YORDANOV; VELIKOVA; TSONEV, 2000). O ganho de biomassa acumulada pelas plantas de *P. cinerascens* com a adição de N ao substrato descreveu o mesmo comportamento da obtido pela taxa fotossintética, havendo um forte ganho inicial, o qual reduz sua

intensidade até atingir o máximo por volta de 80 mg de N dm<sup>-3</sup> de substrato. Esse ganho inicial em biomassa acumulada pode estar associado ao potencial de fixação de carbono da espécie e à reduzida limitação para as diferentes variáveis que determinam as trocas gasosas, como a manutenção da condutância estomática, determinada sobretudo pela quantidade, tamanho e abertura dos estômatos para entrada de CO<sub>2</sub> (a qual ocorre concomitante com a perda de água e requer um suprimento continuado para evitar a redução da turgescência das células-guarda), resistência hidráulica associada a captação e redistribuição de água na planta, velocidade máxima de carboxilação, entre outros (BRODRIBB *et al.*, 2009; MARTINS *et al.*, 2011).

Plantas de *P. cinerascens* aumentaram a eficiência de uso da água com o aumento da aplicação de N ao substrato. Esse ganho pode estar associado à diminuição do número de estômatos na epiderme celular que também ocorreu com o aumento da aplicação de N, sobretudo na face abaxial onde foi observada a grande maioria dos estômatos. Apesar de a redução do número de estômatos normalmente reduzir a condutância estomática, o aumento dos diâmetros polar e equatorial possivelmente compensaram tal perda e permitiram não só o aumento da condutância como o maior controle de abertura dos mesmos, desta forma permitindo o aumentando a razão de CO<sub>2</sub> absorvido pela quantidade de moléculas de H<sub>2</sub>O perdida, i.e. aumento da eficiência de uso da água (CAMARGO e MARENCO, 2011; CARLOS DE OLIVEIRA E MIGLIORANZA, 2013; LAKE *et al.*, 2001; NEJAD e MEETEREN, VAN, 2005; PEARCE *et al.*, 2006). Estas alterações fisiológicas não foram observadas para as plantas de *A. longispicus*. De fato, plantas desta espécie apresentam elevada eficiência de uso da água, sendo até superior à de *P. cinerascens* em condições controle (sem adição de fertilizantes). No entanto, o incremento de N ao substrato aumentou a eficiência de *P. cinerascens* para valores que não diferem dos observados em *A. longispicus*. Esta elevada eficiência de uso da água é esperada para plantas adaptadas às condições ambientais das cangas, onde há um período de restrição hídrica bastante acentuado (SKIRYCZ *et al.*, 2014). Ambas as espécies avaliadas neste estudo são perenes e desenvolveram mecanismos para tolerância ao déficit hídrico, o qual está associado, nesta região, a forte radiação (PAR de mais de 2.500

$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  e com a presença de elevados índices UV) e temperaturas elevadas (GIANNINI *et al.*, 2016; ZAPPI *et al.*, 2018), conferindo a estas espécies características desejáveis para iniciar revegetação de áreas degradadas, sobretudo a espécie *P. cinerascens* devido ao ganho de biomassa associada a alta eficiência de uso água que apresentou em substrato oriundo da mineração em Carajás após fertilização. Vale destacar a alta capacidade de absorção e transporte de água que esta espécie apresentou, pois apesar da redução na razão raiz: parte aérea com o aumento de N no substrato, não houve prejuízos para a assimilação de carbono, mas sim o aumento das trocas gasosas e da perda de água para atmosfera.

As duas espécies estudadas aumentaram o número de perfilhos com a adição de N ao substrato. Aumento na taxa de perfilhamento com a adição de N ao ambiente tem sido reportado em diversas espécies (VIEJO, 2019; MUFLAHI, 2017), podendo trazer ganhos para a produção de biomassa e que, na maioria das vezes, podem ser também traduzidos em ganhos para a produção de sementes/grãos (MUFLAHI, 2017). Em plantas de *P. cinerascens*, o aumento na taxa de perfilhamento resultou em ganho de biomassa, sobretudo para a parte aérea. Enquanto o aumento no número de perfilhos em plantas de *A. longispicus* não incrementou a biomassa mesmo com a maior disponibilidade de N no substrato, o que pode estar associado a um crescimento mais lento desta espécie e à menor capacidade de fixação de carbono. No entanto, taxas de perfilhamento elevadas podem também reduzir a produção de estruturas reprodutivas viáveis devido a uma maior competição por recursos, sobretudo carboidratos (CONFORTIN, 2012).

Poucos nutrientes apresentaram alterações significativas entre os tratamentos aplicados. Embora a concentração na biomassa não sendo alterada, denotando similaridade nutricional entre os diferentes tratamentos, uma maior quantidade de nutrientes foi retirada do substrato pelas plantas que apresentaram maior crescimento, neste caso as plantas de *P. cinerascens* que foram cultivadas com a adição de N. A maior concentração de Cu no tecido foliar de *P. cinerascens* pode ter ocorrido devido este fazer parte de vários compostos orgânicos, como proteínas e enzimas vitais ao metabolismo vegetal, apresentar participação em vários processos fisiológicos, demonstrando comportamento aumento de concentração associado ao aumento das

taxas de fotossíntese, respiração e metabolismo de carboidratos, e, portanto, essencial para o crescimento da planta. (KABATA-PENDIAS, 2010; BROADLEY et al., 2012). Para os demais nutrientes, a maior quantidade de nutrientes retirada encontra-se diluída na maior quantidade de biomassa acumulada pela planta, ou seja, estes nutrientes foram diluídos no tecido vegetal, mantendo a concentração (CARMO *et al.*, 2011; HIKOSAKA, 2004).

## 6 CONCLUSÃO

As duas espécies de Poaceae nativas das cangas de Carajás podem ser propagadas vegetativamente através da separação de perfilhos. Este tipo de propagação apresentou maior sucesso para a espécie *A. longispicus* quando comparada ao *P. cinerascens*. Apesar de o crescimento de *A. longispicus* não ter sido alterado pela maior disponibilização de N no substrato, um maior sucesso de crescimento destes perfilhos no substrato estéril vermelho oriundo da mineração foi observado para o *P. cinerascens*. Esta espécie aumentou em mais de 2x a capacidade de fixação de carbono com o aumento de N no substrato, perfazendo em acúmulo de biomassa superior em cerca 3x ao tratamento controle, ou seja, sem a adição de N. Ademais, ajustes fisiológicos como à diminuição do número de estômatos na epiderme celular, sobretudo na face abaxial onde foi observada a grande maioria dos estômatos permitiram não só o aumento da condutância como o maior controle de abertura dos mesmos devido ao aumento dos diâmetros polar e equatorial, permitindo a uma maior eficiência de uso da água. Ambas as espécies apresentaram potencial uso para emprego na revegetação em áreas de mineração em Carajás. O *P. cinerascens* apresentou crescimento otimizado após correção de pH, fertilização e adição de 80 mg de N por dm<sup>3</sup> de substrato estéril vermelho e o *A. longispicus* apresenta alta taxa de sobrevivência dos perfilhos.

## REFERÊNCIAS

- AASAMAA, K.; SOBER, A.; RAHI, M. Leaf anatomical characteristics associated with shoot hydraulic conductance, stomatal conductance and stomatal sensitivity to changes of leaf water status in temperate deciduous trees. *Australian Journal of Plant Physiology*, v. 28, n.8, p. 765–774, 2001.
- AERTS, R. Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns. *Journal of Ecology*, v. 84, n. 4, p. 597–608, 1996.
- ALLEN, S.C. *et al.* Nitrogen mineralization in a pecan (*Carya illinoensis* K. Koch)–cotton (*Gossypium hirsutum* L.) alley cropping system in the southern United States. *Biology and Fertility of Soils*, v. 41, p. 28–37, 2005.
- BASTOS, M.N.C. A flora “rupestre” da Serra de Carajás (gramineae): 2. Gênero *Axonopus* P. Beauv. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Botânica*, v. 7, n.2, p. 473-483, 1991.
- BAUMGARTNER, J.G.; LOURENÇO, R.S.; MALAVOLTA, E. Studies on the mineral nutrition and fertilization of passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.). V. Mineral fertilization. *Científica*, v. 6, n. 3, p. 361–367, 1978.
- BELTRÃO, N.E.M. *et al.* Trocas gasosas e características fisiológicas em plantas de algodoeiro sob diferentes temperaturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 8.; COTTON EXPO, 1., 2011, São Paulo. *Anais...* Campina Grande: Embrapa Algodão, 2011. p. 1234–1241. 1 CD-ROM.
- BERTOLINO, L.T.; CAINE, R.S.; GRAY, J.E. Impact of stomatal density and morphology on water-use efficiency in a changing world. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, 2019.
- BEZERRA, R.C.A. *et al.* Características agronômicas de *Urochloa mosambicensis* sob diferentes níveis de fósforo e nitrogênio. *Magistra*, v. 30, p.268-276, 2019.
- BIGOLIN, M.F. *Eficiência de quatro fontes de adubação nitrogenada em cobertura e rendimento de grãos na cultura do trigo* [trabalho de conclusão de curso]. Ijuí: Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Departamento de Estudos Agrários. Curso de Agronomia, 2018.
- BINDRABAN, P.S. *et al.* Revisiting fertilizers and fertilization strategies for improved nutrient uptake by plants. *Biology and Fertility of Soils*, v. 51, p. 897–911, 2015.
- BOTREL, M.A.; NOVAES, L.P.; ALVIM, M.J. *Características forrageiras de algumas gramíneas tropicais*. Juiz de Fora: EMBRAPA-CNPGL, 1998.

BRASIL. Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o artigo 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 19 jul. 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm)>. Acesso em: 10 de Agosto 2019

BRODRIBB, T.J. *et al.* Evolution of stomatal responsiveness to CO<sub>2</sub> and optimization of water-use efficiency among land plants. *New Phytologist*, v. 183, n. 3, p. 839-847, 2009.

BROADLEY, M. *et al.* Function of nutrients: micronutrients. In: MARSCHNER, P. *Marchner's mineral nutrition of higher plants*. 3rd. ed. Londres, Academic Press, 2012.

BURMAN, A.G.; BASTOS, M.N. do. A new species of *Thrasya* H.B.K. (Graminae) from Brazil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Botânica*, v. 4, n.2, p. 235-241, 1988.

CAMARGO, M.A.B.; MARENCO, R.A. Density, size and distribution of stomata in 35 rainforest tree species in Central Amazonia. *Acta Amazonica*, v. 41, n. 2, p. 205-2012, 2011.

CAMINHA, F.O. *et al.* Estabilidade da população de perfilhos do capim-marandu sob lotação contínua e adubação nitrogenada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, n. 2, p. 213-220, 2010.

CARMO, G.A. do *et al.* Teores foliares, acúmulo e partição de macronutrientes na cultura da abóbora irrigada com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 5, p. 512-518, 2011.

CARVALHO, F.F. *Eficiência potencial do uso do nitrogênio e fósforo na fotossíntese ao longo de um gradiente de perturbação antrópica da Mata Atlântica* [dissertação]. São Paulo: Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, 2017.

CARVALHO, P.S.L. de *et al.* Sustentabilidade socioambiental da mineração. *BNDES Setorial*, v. 47, p. 333-390, 2018.

CIAMPITTI, I. *et al.* Maize nutrient accumulation and partitioning in response to plant density and nitrogen rate: I. Macronutrients. *Agronomy Journal*, v. 105, n. 3, p. 783-795, 2013.

CARLOS DE OLIVEIRA, E.; MIGLIORANZA, É. Dimensões e densidade estomática em diferentes variedades de mandioca 1. v. 6, n. 4, p. 201-213, 2013.

CONFORTIN, A.C.C. *Dinâmica de crescimento de gramíneas nativas do Rio Grande do Sul submetidas a dois intervalos entre pastoreios* [tese]. Santa Maria: Universidade

Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2012.

DELFINI, C. *et al.* *Axonopus longispicus (Döll) Kuhl*m. 2018. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB123695>>. Acesso em: 10 de Agosto 2019.

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. *et al.* Fluxo de nutrientes em ecossistemas de pastagens: impactos no ambiente e na produtividade. In: PEDREIRA, C.G.S. *et al.* (Eds.) *As pastagens e o meio ambiente*. Piracicaba: FEALQ, 2006. p.439-506.

GASTAUER, M. *et al.* Mine land rehabilitation: modern ecological approaches for more sustainable mining. *Journal of Cleaner Production*, v. 172, p. 1409-1422, 2018.

GIANNINI, T.C. *et al.* Selecting plant species for practical restoration of degraded lands using a multiple-trait approach. *Austral Ecology*, v. 42, n. 5, p. 510-521, 2016.

GRAHAM, P.H.; VANCE, C.P. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. *Field Crops Research*, v. 65, n. 2-3, p. 93-106, 2000.

GRAMINHO, L.A. *Resposta de híbridos de paspalum notatum a fertilização nitrogenada e a consorciação com leguminosas* [tese]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2018.

HERNANDES, A. *et al.* Doses, sources and periods of nitrogen application in rice cultivars. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 2, p. 307–312, 2010.

HETHERINGTON, A.M.; WOODWARD, F.I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*, n. 424, p. 901–908, 2003.

HIKOSAKA, K. Interspecific difference in the photosynthesis-nitrogen relationship: patterns, physiological causes, and ecological importance. *Journal of Plant Research*, v. 117, n. 6, p. 481–494, 2004.

HOLOU, R.A.Y.; STEVENS, G.; KINDOMIHOU, V. Impact of nitrogen fertilization on nutrient removal by corn grain. *Crop Management Research*, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2011.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Plano de manejo para uso múltiplo da Floresta Nacional de Carajás. Capítulo 1 - aspectos gerais*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2003. E-book. Disponível em: <[http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/flona\\_carajas.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/flona_carajas.pdf)>. Acesso em: 10 de Agosto 2019.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. *Plano de manejo da Floresta Nacional de Carajás. Volume II - planejamento*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2016. E-book. Disponível em: <

[http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/biodiversidade/UC-RPPN/DCOM\\_ICMBio\\_plano\\_de\\_manejo\\_Flona\\_Carajas\\_volume\\_II.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/biodiversidade/UC-RPPN/DCOM_ICMBio_plano_de_manejo_Flona_Carajas_volume_II.pdf)>. Acesso em: 10 de Agosto 2019.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. *Plano de pesquisa geossistemas ferruginosos da Floresta Nacional de Carajás*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2017. E-book. Disponível em: <[http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/plano\\_de\\_pesquisa\\_flna\\_carajas\\_-\\_06-09-2017\\_-\\_final\\_2.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/plano_de_pesquisa_flna_carajas_-_06-09-2017_-_final_2.pdf)>. Acesso em: 10 de Agosto 2019.

JOHANSEN, D.A. *Plant microtechnique*. Londres: McGraw-Hill, 1940.

KABATA-PENDIAS, A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

KADAM, S.; PAWAR, S.; JAKKAWAD, S. Response of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) to levels and scheduling of nitrogen under south Gujarat condition. *International Journal of Chemical Studies*, v. 6, n. 61, p. 32–35, 2019.

KLIEMANN, H.J. *et al.* Nutrição mineral e adubação do maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims). In: HAAG, H.P. *Nutrição mineral e adubação de fruteiras tropicais no Brasil*. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 247-284.

KUHLMANN, J.G. *Comissão Rondon. Comissão de Linhas Telegraphicas Estrategicas de Matto-Grosso ao Amazonas. Botanica : Parte XI: Gramineas (1º fasciculo)*. Rio de Janeiro : Papelaria Macedo, 1922.

LAKE, J.A. *et al.* Signals from mature to new leaves. *Nature*, v. 411, p. 154, 2001.

LAWLOR, D.W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment*, v. 25, n. 2, p. 275- 294, 2002.

LUZ, M.J.S.; FERREIRA, G.B.; BEZERRA, J.R.C. *Adubação e correção do solo: procedimentos a serem adotados em função dos resultados da análise do solo*. Brasília: Embrapa, 2002.

MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980.

MALAVOLTA, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Ceres, 2006.

MARTINS, C.R. *et al.* Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre: a importância na química da atmosfera. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n. 5, p. 28-41, 2003.

MARTINS, T.F. Distribuição regional de minerais hidrotermais na Folha Rio Verde, província mineral de Carajás [trabalho de conclusão de curso]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2019.

MENEGATTI, D.P. *et al.* Nitrogênio na produção de matéria seca, teor e rendimento de proteína bruta de três gramíneas do gênero *Cynodon*. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 26, n. 3, p. 633–642, 2002.

MENGARDA, L.S. *et al.* Disponibilidade de nitrogênio, sobrevivência e contribuição dos perfilhos ao rendimento de grãos do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 1, p. 183-191, 2011.

MITRE, S.K. *et al.* Nutrient and water dynamics of Amazonian canga vegetation differ among physiognomies and from those of other neotropical ecosystems. *Plant Ecology*, v. 219, n. 9, p. 1341-1353, 2018.

MOTA, N.F.O. *et al.* Vegetação sobre sistemas ferruginosos da Serra dos Carajás. In: CARMO, F.F.; KAMINO, L.H.Y. (orgs.). Geossistemas ferruginosos no Brasil. Belo Horizonte: Instituto Prístino, 2015. p. 289-315.

MOTA, N.F.O. *et al.* Amazon canga: the unique vegetation of Carajás revealed by the list of seed plants. *Rodriguésia*, v. 69, n. 3, p. 1435–1488, 2018.

MUFLAHI, A.A.M.; BASUAID, A.S. Effect of nitrogen fertilizer and its application efficiency on two local sorghum cultivars *Sorghum bicolor* L. Moench. *Journal of Agricultural Science*, v. 9, n. 4, p. 236-241, 2017.

NEJAD, A.R.; MEETEREN, U. Stomatal response characteristics of *Tradescantia virginiana* grown at high relative air humidity. *Physiologia Plantarum*, n. 125, p. 324–332, 2005.

NUNES, J.A. *Florística, estrutura e relações solo-vegetação em gradiente fitofisionômico sobre canga, na Serra Sul, FLONA de Carajás - Pará* [dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Botânica, 2009.

OLIVEIRA, E.C.; MIGLIORANZA, É. Dimensões e densidade estomática em diferentes variedades de mandioca. *Cultivando o Saber*, v. 6, n. 4, p. 201–213, 2013.

OLIVEIRA, R.C. de; VALLS, J.F.M. *Paspalum cinerascens* (Döll) A.G.Burm. & C.N.Bastos. 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/FichaPublicaTaxonUC/FichaPublicaTaxonUC.do?id=FB32311>>. Acesso em: 10 de Agosto 2019.

OSORIO FILHO, B.D. *et al.* Promoção de crescimento de arroz por rizóbios em diferentes níveis de adubação nitrogenada. *Ciência Rural*, v.46, n. 3, p. 478-485, 2016.

PASLEY, H.R. *et al.* Nitrogen fertilizer rate increases plant uptake and soil availability of essential nutrients in continuous maize production in Kenya and Zimbabwe. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 115, n. 3, p. 373–389, 2019.

PEARCE, D.W. *et al.* Stomatal characteristics of riparian poplar species in a semi-arid environment. *Tree Physiology*, v. 26, n. 2, p. 211-218, 2006.

PYNGROPE, D.; MITHARE, P.; GHOSH, G. Influence of different planting system and levels of nitrogen on growth, yield, quality and economics of rice (*Oryza Sativa* L.) - a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v. 8, n. 1, p. 2161–2172, 2019.

RAMOS, S.J. *et al.* Plant growth and nutrient use efficiency of two native Fabaceae species for mineland revegetation in the eastern Amazon. *Journal of Forestry Research*, p. 1-7, 2019.

SAHOO, P.K. *et al.* Geochemistry of upland lacustrine sediments from Serra dos Carajás, Southeastern Amazon, Brazil: implications for catchment weathering, provenance, and sedimentary processes. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 72, p. 178–190, 2016.

SAHU, K.C.; KARIALI, E.; MOHAPATRA, P.K. Tiller dominance in rice is dependent on assimilate concentration of the panicle during grain filling. *Indian Journal of Plant Physiology*, v. 9, n. 4, p. 402–406, 2004.

SAMAL, D. *et al.* Potassium uptake efficiency and dynamics in the rhizosphere of maize (*Zea mays* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.) and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) evaluated with mechanistic model. *Plant Soil*, v. 332, n. 1, p. 105–121, 2010.

SANTOS, P.L.F.; CASTILHO, R.M.M. Relação entre teor de clorofila e nitrogênio foliar em grama esmeralda cultivada em substratos. *Tecnologia e Ciência Agropecuária*, v. 9, n. 4, p. 51–54, 2015.

SANTOS, P.L.F.; CASTILHO, R.M.M.; GAZOLA, R.P.D. Pigmentos fotossintéticos e sua correlação com nitrogênio e magnésio foliar em grama bermuda cultivada em substratos. *Acta Iguazu*, v. 8, n. 1, p. 92–101, 2019.

SCALON, M.C.; WRIGHT, I.J.; FRANCO, A.C. To recycle or steal? Nutrient resorption in Australian and Brazilian mistletoes from three low-phosphorus sites. *Oikos*, v. 126, n. 1, p. 32–39, 2017.

SCHIAVO, J.A. *Revegetação de áreas degradadas pela extração de argila, com espécies micorrizadas de Acacia mangium, Sesbania virgata E Eucalyptus*

*camaldulensis* [tese]. Campo de Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2005.

SCHLICHTING, A. F. *Cultura do milho submetida a tensões de água no solo e doses de nitrogênio* [dissertação]. Rondonópolis: Universidade Federal de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2012.

SCHNEIDER, C.A.; RASBAND, W.S.; ELICEIRI, K.W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, v. 9, n. 7, p. 671–675, 2012.

SEGATTO, F.B. *et al.* Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. *Ciência Rural*, v. 34, n. 5, p. 1597-1601, 2004.

SHIRASUNA, R.T; FILGUEIRAS, T.S.; BARBOSA, L.M. Poaceae do Rodoanel Mario Covas, trecho sul, São Paulo, SP, Brasil: florística e potencial de uso na restauração de áreas degradadas. *Hoehnea*, v. 40, n. 3, p. 521–536, 2013.

SILVA, M.A. *Arranjos político-institucionais: a criação de novos municípios, novas estruturas de poder e as lideranças locais - a divisão territorial de Marabá na década de 1980* [tese]. Belém: Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, 2006.

SILVA, J.P.S. Impactos ambientais causados por mineração. *Revista Espaço da Sophia*, n. 8, p. 1–13, 2007.

SILVA, J.R. *et al.* Initial growth of Fabaceae species: combined effects of topsoil and fertilizer application for mineland revegetation. *Flora*, v. 246–247, p. 109–117, 2018.

SKIRYCYZ, A. *et al.* Canga biodiversity, a matter of mining. *Frontiers in Plant Science*, v. 5, p. 1–9, 2014.

SOUZA, F.C.R.; CARMO, F.F. Geossistemas ferruginosos no Brasil. In: CARMO, F.F.; KAMINO, L.H.Y. *Geossistemas ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais*. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015, p. 47-76.

VIANA, P.L. *et al.* Flora of the cangas of the Serra dos Carajás, Pará, Brazil: history, study area and methodology. *Rodriguesia*, v. 67, n. 5esp., p. 1107–1124, 2016.

VIANA, P.L. *et al.* Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: Poaceae. *Rodriguésia*, v. 69, n. 3, p. 1311–1368, 2018.

VIEJO, M.S.C. Respuesta del pasto “Tanner” (*Brachiaria arrecta*) a diferentes niveles de nitrógeno en la zona de Babahoyo [trabalho de conclusão de curso]. *Babahoyo (Ecuador): Universidad Técnica de Babahoyo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Carrera de Ingeniería Agronómica*, 2019.

VINHAL-FREITAS, I.C.; RODRIGUES, M.B. Fixação biológica do nitrogênio na cultura do milho. *Revista Agropecuária Técnica*, v. 31, n. 2, p. 143–154, 2010.

WANG, Y. *et al.* Effects of nitrogen and tiller type on grain yield and physiological responses in rice. *AoB PLANTS*, v. 9, n. 2, p. 1-14, 2017.

WANG, Y. *et al.* Synthesis of climate, soil factors, and nitrogen management practices affecting the responses of wheat productivity and nitrogen use efficiency to nitrogen fertilizer in China. *Sustainability (Switzerland)*, v. 10, n. 10, 2018.

WELLBURN, A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, v. 144, n. 3, p. 307–313, 1994.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant response to drought, acclimation, and stress tolerance. *Photosynthetica*, v. 38, p.171- 186, 2000.

ZAPPI, D.C. *et al.* Plantas nativas para recuperação de áreas de mineração em Carajás. Belém: Instituto Tecnológico Vale (ITV), 2018.

## **APÊNDICE A – RELATÓRIO TÉCNICO**

PROD. TEC. ITV DS - N016/2020

DOI: 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2020.16.Lima

## **PRODUÇÃO TÉCNICA ITV DS**

# **PROPAGAÇÃO E CRESCIMENTO DE GRAMÍNEAS NATIVAS DOS AFLORAMENTOS ROCHOSOS DE CARAJÁS, AMAZÔNIA ORIENTAL.**

Projeto RAD I – Relatório de atividades

Madson Oliveira Lima

Cecílio Frois Caldeira Júnior

Sílvio Júnio Ramos

Markus Gastauer

Belém/PA

Março/2020

<b>Título:</b> Propagação e Crescimento de Gramíneas Nativas dos Afloramentos Rochosos de Carajás, Amazônia Oriental.	
<b>PROD. TEC. ITV DS – N016/2020</b>	
<b>Classificação:</b> ( ) Confidencial ( ) Restrita ( ) Uso Interno ( X ) Pública	Revisão 00

**Informações Confidenciais** - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

**Informações Restritas** - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

**Informações de Uso Interno** - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

**Informações Públicas** - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L732	<p>Lima, Madson Oliveira          Propagação e Crescimento de Gramíneas Nativas dos Afloramentos Rochosos de Carajás, Amazônia Oriental / Madson Oliveira Lima; Cecílio Frois Caldeira Júnior; Sílvio Junio Ramos; Markus Gastauer -- Belém-PA, 2020.          33 f.: il.</p> <p>1. Gramíneas – Carajás (PA). 2. Canga – Carajás (PA). 3. Áreas degradadas - Carajás (PA). I. Caldeira Junior, Cecílio Fróis. II. Ramos, Sílvio Junio. III. Gastauer, Markus. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD.23 ed. 584.98115</p>
------	--

Bibliotecário(a) responsável :Nisa Gonçalves CRB-2: 525

## RESUMO EXECUTIVO

A extração mineral pode ocasionar alteração das características ambientais e na paisagem nas regiões onde ocorre, o que acarreta o surgimento de áreas degradadas, nas quais há a necessidade de intervenção com foco na recuperação desses ambientes. Em geral, áreas degradadas apresentam na maioria dos casos, substratos com baixo teor de matéria orgânica (MO) e disponibilidade de nutrientes. Para recuperação destas áreas e redução de processos erosivos, há a necessidade de uso de plantas que apresentem crescimento rápido para recobrimento do solo, as quais devem apresentar elevada capacidade de incorporação de carbono (C), facilidade de propagação e ocorrência nas comunidades do entorno. Assim sendo, objetivou-se avaliar a propagação e crescimento de gramíneas nativas em função do incremento de nitrogênio (N) ao substrato de áreas de mineração de Carajás a ser revegetado. As espécies nativas *Paspalum cinerascens* e o *Axonopus longispicus* foram selecionadas para propagação e crescimento, devido estarem entre as mais comuns nas formações de canga nas Serras de Carajás, onde ocorre mineração de ferro na região. A pesquisa possuiu 110 dias de cultivo e teve a adição de N fracionada em 3 doses (fonte ureia -  $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) e quatro tratamentos de N (0, 40,80 e 200). As variáveis analisadas foram biomassa de raiz e aérea, trocas gasosas, teor de pigmentos, anatomia foliar e composição nutricional da parte aérea. As duas nativas apresentaram potencial de propagação vegetativa via separação de perfilhos. Apesar de o crescimento de *A. longispicus* não ter sido alterado pela maior disponibilização de N, um maior sucesso de crescimento destes perfilhos foi observado para o *P. cinerascens*. Esta espécie aumentou em mais de 2x a capacidade de fixação de carbono, perfazendo em acúmulo de biomassa superior em cerca 3x ao tratamento controle. Ademais, ajustes fisiológicos como à diminuição do número de estômatos na epiderme celular permitiram não só o aumento da condutância como o maior controle de abertura dos mesmos devido ao aumento dos diâmetros polar e equatorial, permitindo a uma maior eficiência de uso da água. A partir desses resultados e do comportamento das espécies estudadas, ambas as espécies apresentaram potencial uso para emprego na revegetação em áreas de mineração em Carajás. O *P. cinerascens* apresentou crescimento otimizado após correção de pH, fertilização e adição de 80 mg de N por  $\text{dm}^3$  de substrato estéril vermelho e o *A. longispicus* apresenta alta taxa de sobrevivência dos perfilhos. As espécies selecionadas são capazes de colonizar vastas áreas, incluindo regiões com restrição hídrica e com incidência de altas temperaturas e intensa radiação. No entanto, novos estudos são necessários, visando aumentar a produção de biomassa para esta espécie.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>6</b>
3.1	MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CULTIVO .....	6
3.1.1	PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DAS GRAMÍNEAS.....	7
3.2	ADIÇÃO DE N AO SUBSTRATO ESTÉRIL VERMELHO DE MINERAÇÃO.....	8
3.3	CONDIÇÕES AMBIENTAIS.....	8
3.3.1	TEOR DE PIGMENTOS.....	9
3.3.2	ANATOMIA FOLIAR.....	9
3.4	ANÁLISE DE DADOS .....	10
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>24</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>26</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Fragmentação e alteração de ambientes naturais estão entre as maiores causas de perda de biodiversidade no mundo. Dado o estado de degradação dos ecossistemas naturais no mundo, é imprescindível a adoção de medidas de manutenção da biodiversidade, tais como conservação, proteção e recuperação. Mais de 15% dos solos do mundo encontram-se degradados ou em processo de degradação. Na região tropical, mais da metade dos solos possuem algum grau de degradação. Em determinadas áreas, como as degradadas pela mineração na região de Carajás, a recuperação enfrenta barreiras relacionadas a fatores como a alteração da topografia, falta de matéria orgânica (MO), elevadas temperaturas e período de forte restrição hídrica, assim como alta radiação.

A recomposição da vegetação das áreas degradadas deve ocorrer de acordo com as características bióticas e abióticas da área. A mineração em Carajás ocorre em áreas cobertas por uma vegetação típica de campo rupestre ferruginoso, conhecida como canga. A vegetação dos diferentes corpos de canga possui cerca de 1094 espécies nativas, porém, poucas são empregadas com sucesso no processo de recuperação de áreas degradadas (RAD) devido ao reduzido conhecimento disponível sobre estas espécies, sobretudo à ausência de protocolos de propagação e cultivo.

A família Poaceae, com 87 espécies nas cangas de Carajás, comporta elevado número de espécies com metabolismo C4, as quais são conhecidas por sua elevada capacidade de fixação de carbono (C) e crescimento rápido, assim como por apresentarem sistema radicular fasciculado e parte aérea com crescimento cespitoso, contribuindo para o controle de processos erosivos. Estas espécies são capazes de colonizar vastas áreas, incluindo regiões com restrição hídrica e com incidência de altas temperaturas e intensa radiação. Em geral, espécies da família Poaceae apresentam características desejáveis para efetuar a RAD em Carajás. *Paspalum cinerascens* e *Axonopus longispicus* figuram entre as espécies que apresentam ampla ocorrência nos corpos de canga das serras Sul, Norte, Bocaina e Tarzan, cobrindo vastas áreas e com crescimento vigoroso. Observa-se, durante a estação chuvosa, o aparecimento de elevado número de perfilhos na base das touceiras logo com as primeiras chuvas, sugerindo que as partes vegetativas destas espécies sobrevivem ao período de secas das cangas. Tais características são benéficas para a RAD, sobretudo em etapas iniciais, quando a revegetação para recobrimento rápido do solo é bastante importante para evitar problemas como erosão.

O nitrogênio (N) é um nutriente determinante para a produtividade dos ecossistemas. As áreas mineradas em Carajás apresentam MOS muito baixa, conseqüentemente, o teor de N no solo é limitante para o crescimento das plantas. A maior disponibilidade desse elemento para as plantas contribui para o ganho de produção, variando de acordo com a espécie. A maior absorção de N pode ser especialmente vantajosa em habitats onde há escassez nutricional no solo, estimulando o perfilhamento, o aumento da produção de biomassa e o crescimento do sistema radicular. No entanto, o conhecimento acerca da eficiência de fertilização nitrogenada em espécies nativas ainda é escasso. Estudos para determinação do requerimento e otimização da aplicação de N em espécies nativas com potencial para uso em RAD podem aumentar a eficiência da revegetação e trazendo ganhos ambientais.

## 2 OBJETIVO

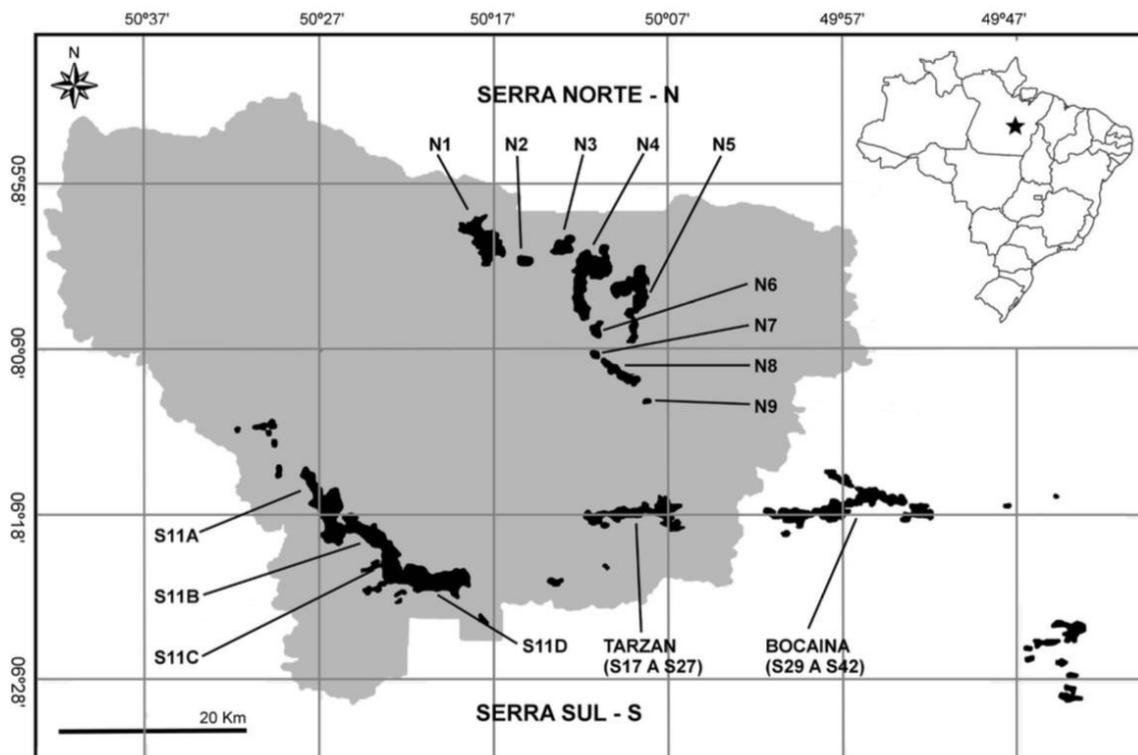
Verificar o potencial de propagação e avaliar o crescimento das Gramíneas *Axonopus longispicus* e *Paspalum cinerascens* em função da adição de N em substrato estéril vermelho de mineração em Carajás.

## 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 3.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CULTIVO

As gramíneas *Paspalum cinerascens* e o *Axonopus longispicus* foram coletadas nos corpos de canga N1 e N2 da Serra dos Carajás no estado do Pará no interior na FLONA de Carajás (Fig.1). A pesquisa prosseguiu encaminhando o material coletado para o Laboratório de Cultivo de Plantas do Instituto Tecnológico Vale (ITV) em Belém.

**Figura 1** – Área de estudo evidenciando os platôs de canga das Serras dos Carajás. Limites da FLONA Carajás (cinza) e identificação dos principais afloramentos / platôs de canga (preto) na área de estudos.



Fonte: Viana *et al.* (2016).

O substrato empregado na pesquisa foi o estéril vermelho comumente encontrado como resíduo das minas do Complexo Mineral de Carajás. Este material foi coletado em área de mineração na Serra Norte (Tabela 1). Devido ao seu baixo valor da saturação de bases inicial, foi realizada calagem para elevação a 50%. Calcário dolomítico foi adicionado com Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 95%. O estéril vermelho foi umedecido e incubado por 40 dias antes da aplicação dos demais nutrientes.

**Tabela 1** – Caracterização física e química do substrato utilizado no experimento.

Argila	Silte	Areia	pH (H <sub>2</sub> O)	P	K	S	Ca	Mg	Al	B	Zn	Fe	Mn	Cu	CTC	V	MO
				mg dm <sup>-3</sup>			cmolc dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>					cmolc dm <sup>-3</sup>	%	dag/kg
17	12.7	70.3	5.1	14.8	8.1	93	0.2	0.1	<0.1	0.2	1.7	76.2	5.5	0.3	2.1	10	0.4

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2020).

A adubação foi realizada conforme recomendada para o cultivo de plantas em vasos (MALAVOLTA, 1980; BOTREL; NOVAES; ALVIM, 1998). Esta foi composta por 200 mg P dm<sup>-3</sup> (Na<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>O); 100 mg K dm<sup>-3</sup> (KCl); 60 mg S dm<sup>-3</sup>; 0.5 mg B dm<sup>-3</sup> (H<sub>3</sub>Bo<sub>3</sub>); 5 mg Zn dm<sup>-3</sup> (ZnSO<sub>4</sub> 7.H<sub>2</sub>O); 1.5 mg Cu dm<sup>-3</sup> (CuSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O); 0.15 mg Mo dm<sup>-3</sup> ((NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> .4.H<sub>2</sub>O), utilizando reagentes SIGMA - ALDRICH. Devido ao elevado teor de Fe no substrato (Tabela 1), não foi necessário fazer adição deste nutriente (LUZ; FERREIRA; BEZERRA, 2002).

### 3.1.1 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DAS GRAMÍNEAS

Touceiras de *P. cinerascens* e *A. longispicus* coletadas em campo foram transferidas para o ITV em Belém/PA. Em laboratório, os perfilhos foram individualizados e a base enterrada em bandejas com células individuais e substrato orgânico tipo Jiffy-7<sup>®</sup>. O substrato foi mantido úmido com reposição diária de água. As bandejas com os perfilhos foram levadas para câmara de crescimento tipo Fitotron<sup>®</sup>, onde a temperatura e umidade relativa do ar foram mantidas em 25°C e 75%, respectivamente. O fotoperíodo foi mantido em 12:12h com radiação de aproximadamente 50 mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> por 30 dias, até o aparecimento de novas raízes e crescimento da parte aérea. Foram preparadas cinco repetições com 20 plantas cada, totalizando 100 perfilhos de cada espécie.

### 3.2 ADIÇÃO DE N AO SUBSTRATO ESTÉRIL VERMELHO DE MINERAÇÃO

O estudo foi realizado em casa de vegetação, com o substrato estéril vermelho (Tabela 1) em vasos com volume de 2,3 dm<sup>3</sup>, composto por quatro tratamentos, sendo: controle (sem aplicação de fertilizantes) e três com diferentes doses de N (40, 80 e 200 mg dm<sup>-3</sup>). A adição de N foi fracionada em 3 aplicações em intervalos de 30 dias, sendo utilizada ureia (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O, SIGMA - ALDRICH) como fonte de N. O estudo foi realizado com duas espécies (*P. cinerascens* e *A. longispicus*). Plantas obtidas do ensaio de propagação vegetativa foram usadas neste estudo, no total de oito repetições por tratamento. Aos 110 dias após plantio dos perfilhos, foram efetuadas avaliações de trocas gasosas, contagem do número de perfilhos por planta e coletados biomassa aérea e radicular. Amostras de folhas foram coletadas para determinação de área foliar específica, extração e quantificação de pigmentos, análise de nutrientes absorvidos e morfometria de estômatos. Amostras de raízes foram também coletadas para determinação de nutrientes absorvidos.

### 3.3 CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Durante o experimento a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) alcançou cerca de 1500 a 2500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Temperatura e déficit de vapor de pressão foram monitorados ao longo de todo estudo utilizando um data logger (RHT10, Extech Instruments). A temperatura variou entre 25 e 30 °C e o déficit de pressão de vapor da atmosfera entre 0.4 e 1.5 kPa. A disponibilidade de água foi mantida em 70% da capacidade de retenção de água no solo, substituindo a água evaporada por água destilada após o monitoramento diário do peso do vaso.

As trocas gasosas foram medidas em folhas totalmente desenvolvidas com um analisador de gás infravermelho (LI-6400XTR, LICOR, LINCOLN, NE, USA), equipado com uma fonte de luz artificial. As medidas foram realizadas em folhas completamente desenvolvidas, que apresentavam boas condições fitossanitárias e as áreas analisadas estavam localizadas no terço médio da planta, conforme recomendado por Beltrão *et al.* (2011). As avaliações foram realizadas entre 9:00 e 11:30 da manhã. As condições ambientais foram ajustadas para 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para a densidade do fluxo de fótons (PPFD), temperatura do bloco de 28 °C (T<sup>a</sup>), concentração de CO<sub>2</sub> de 400 ppm e déficit de vapor de pressão (VPD) entre 1.8 – 2.0 kPa.

Biomassa aérea (BA) e radicular (BR) foram quantificadas separadamente ao encerramento do estudo. Folhas frescas foram coletadas e digitalizadas para medir a área

foliar específica (SLA) por meio do software ImageJ (SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012). O material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 60° C até a obtenção de um peso constante para obter o peso da matéria seca (WANG *et al.*, 2018). Assim, a área específica foi calculada como a razão entre área fresca e massa seca (SCALON; WRIGHT; FRANCO, 2017). Raízes e folhas secas de cada tratamento foram usados para determinação de macro e micronutrientes.

### 3.3.1 TEOR DE PIGMENTOS

Amostras coletadas de folhas totalmente desenvolvidas foram usadas para quantificar a concentração de pigmentos. Durante a coleta, as amostras foram congeladas rapidamente em nitrogênio líquido em menos de 30s após e posteriormente armazenadas em freezer a -80 °C. O procedimento de extração foi realizado no escuro para evitar a degradação dos pigmentos. O material foliar foi macerado com a adição de N líquido e, posteriormente adicionado 10 mL de acetona 90% (SIGMA ALDRICH). Após 24 horas, foram levados para centrífuga (EPPENDORF CENTRIFUGE 5810 R, ROTOR A-4-81, HAMBURG, GERMANY) a temperatura de 4 °C por um período de 20 minutos a 3000 rpm e usada uma alíquota do sobrenadante de 2 mL. As curvas padrão para clorofila *a* (Chla) e *b* (Chlb) foram preparadas em duplicata de 0,1 mg/mL de acetona 90% (Sigma Aldrich). A absorvância foi determinada em comprimentos de onda de 480 nm, 510 nm, 630 nm, 647 nm, 664 nm, 665 nm (com e sem ácido) e 750 nm (com ácido) com o uso do espectrofotômetro (BIOCHROM LIBRA MODEL S80, CAMBRIDGE, ENGLAND). A partir das leituras obtidas foi possível determinar o teor das Chla e Chlb (BELTRÃO *et al.*, 2011) e a concentração de carotenoides (Car) utilizando equações propostas por Wellburn (1994).

### 3.3.2 ANATOMIA FOLIAR

Amostras de folhas frescas foram coletadas e fixadas em FAA 70% (formaldeído, ácido acético glacial e etanol 70% 1:18:1) por 72 horas, em seguida, foram transferidas para solução de álcool etílico a 70% (JOHANSEN, 1940). Para determinação da densidade estomática das faces adaxial e abaxial, foram realizadas impressões em adesivo universal (Super Bond) (SEGATTO *et al.*, 2004). Foram confeccionadas 5 impressões anatômicas de cada face da folha para cada amostra/repetição. Em cada face da folha foram avaliadas 4 áreas de 0,23 mm<sup>2</sup>, onde foram contabilizados o número de estômatos, bem como o diâmetro polar e equatorial dos mesmos. As imagens obtidas do material foram digitalizadas nas lâminas,

através do microscópio Zeiss Axio Cam MRm com câmera (AXIOCAM MRC 5) acoplada a um computador. As fotomicrografias foram registradas com auxílio do software Axiovision SE64.

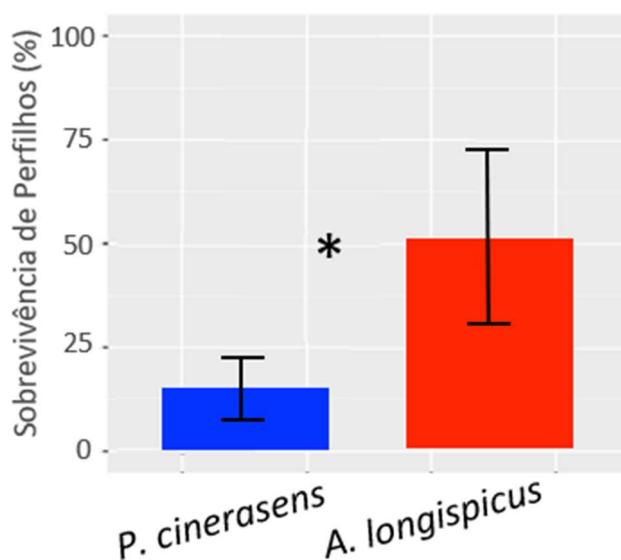
### 3.4 ANÁLISE DE DADOS

Os dados foram processados por meio do ambiente de programação R (versão R 3.6.1), pacotes como: lme4, lmerTest, nlme, MuMIn, effects, ggplot2, gridExtra, ISLR, dplyr, ggthemes foram utilizados para realização de ajustes, análises de regressão e preparo de figuras. As informações coletadas também foram submetidas à análise de variância (ANOVA) após verificar distribuição normal de variáveis por meio do teste W (Shapiro-Wilk). Para comparações de médias, foi aplicado o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade para comparação de médias dos fatores espécies e análise de regressão para a adição de N ao substrato.

## 4 RESULTADOS

A propagação vegetativa levou à obtenção de perfilhos para as duas espécies. A sobrevivência dos perfilhos de *A. longispicus* foi significativamente superior à sobrevivência de *P. cinerascens*, sendo aproximadamente duas vezes mais alta após 30 dias de transplante para substrato orgânico em condições controladas (Fig. 2).

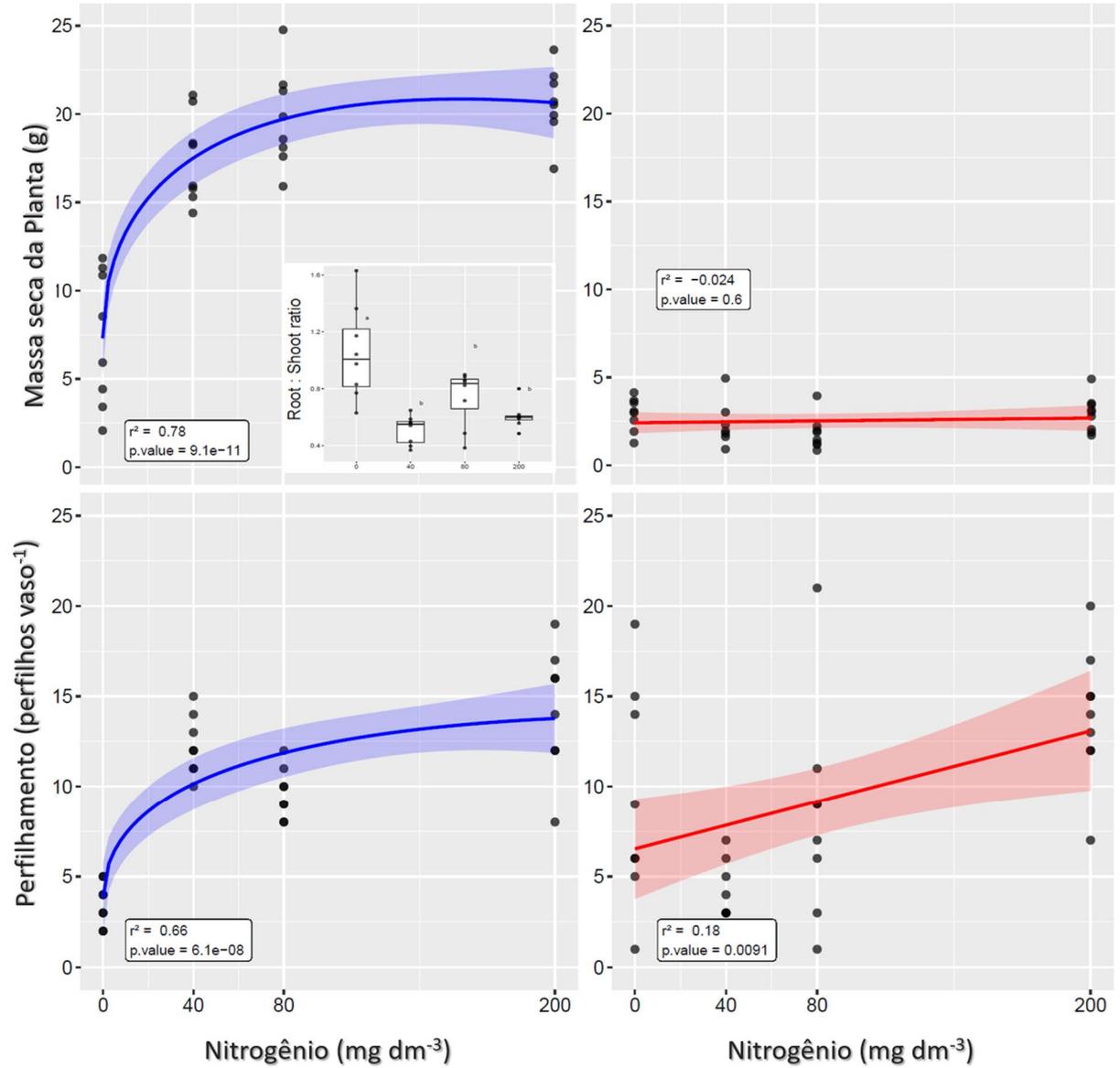
**Figura 2** – Taxa de sobrevivência de perfilhos de *Axonopus longispicus* de *Paspalum cinerascens* em condições controladas. \* representa a observação de diferença significativa entre as médias após teste t de Student em  $P < 0,01$ .



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2020).

A adição de N ao substrato estéril de mineração aumentou significativamente o crescimento do *P. cinerascens* (Fig. 3A e B), embora não tenha alterado o ganho de biomassa e trocas gasosas de *A. longispicus* (Fig. 3C e 4C e D). Em geral, mesmo a aplicação de baixas quantidades de N ao substrato levou ao aumento da capacidade de fixação de  $\text{CO}_2$  e ganho de biomassa para o *P. cinerascens*. Para ambas as variáveis, os valores máximos foram obtidos quando da aplicação de aproximadamente  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  de N (fotossíntese =  $86.68$  e biomassa =  $73.69 \text{ mg dm}^{-3}$  de N, Fig. 3A). A partir destas quantidades de N aplicadas ao solo, a taxa fotossintética e biomassa aumentaram cerca de 2x e 3x comparadas com o tratamento controle, onde não houve adição de N ao substrato. De forma similar, tanto a taxa de perfilhamento quanto a condutância estomática seguiram o mesmo padrão, havendo forte ganho a partir de baixas doses de N (Fig. 3B e 4B). Os resultados e modelos de regressão para as variáveis mensuradas nas duas espécies são mostrados na Tab. 2.

**Figura 3** – Biomassa aérea e taxa de perfilhamento para o *P. cinerascens* (A e B) e *A. longispicus* (C e D) com a adição de N ao substrato estéril vermelho oriundo da mineração em Carajás. Boxplots no interior das figuras A e C representam a razão entre a biomassa da raiz: parte aérea para as espécies *P. cinerascens* e *A. longispicus*, respectivamente.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

**Tabela 2** – Resultados de modelos de regressão para as variáveis mensuradas nas duas espécies.

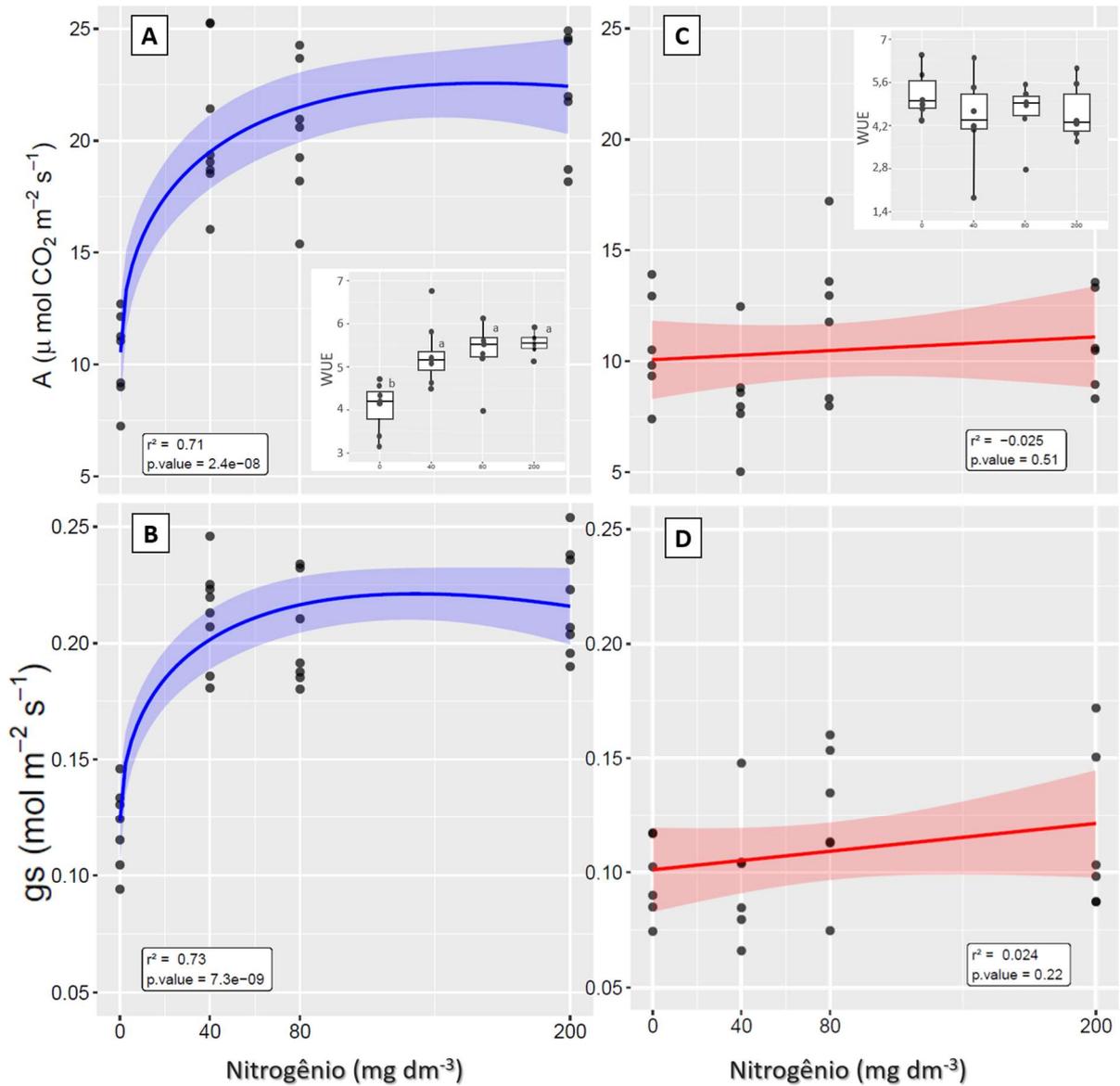
Espécie			Variáveis	Modelos	R <sup>2</sup>
<i>cin</i>	<i>er</i>	<i>as</i>	Plant dry mass (g)	$Y = -0.08545 x^{***} + 2.15228^{***} x^{0.5} +$	0.78

		7.2975***	
	Perfilhos	$Y = 6.81548*** + 0.05179*** x$	0.66
	Fotossíntese ( $\mu\text{molCO}_2$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$Y = -0.1108 x^{**} + 2.3178*** x^{0.5} + 10.9779***$	0.71
	Condutância ( $\mu\text{molH}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$Y = -0.001283 x^{***} + 0.021567*** x^{0.5} + 0.14585***$	0.73
	Clorofila <i>a</i> ( $\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$ )	$Y = 2.499e^{-03***} + 1.331e^{-05}*** x$	0.247
	Clorofila <i>b</i> ( $\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$ )	$Y = 4.352e^{-03***} + 1.216e^{-05}*** x$	0.0423
	Carotenoides ( $\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$ )	$Y = 2.499e^{-03***} + 1.331e^{-05}*** x$	0.0577
<i>A. longispicus</i>	Plant dry mass (g)	$Y = 2.4203 + 0.001338 x$	-0.024
	Perfilhos	$Y = 8.26301*** + 0.03345 x$	0.18
	Fotossíntese ( $\mu\text{molCO}_2$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$Y = 10.804752 + 0.004187 x$	-0.025
	Condutância ( $\mu\text{molH}_2\text{O}$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$Y = 0.1037514 + 0.0001169 x$	0.024
	Clorofila <i>a</i> ( $\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$ )	$Y = 1.683e^{-03**} + 6.650e^{-06} x$	0.228
	Clorofila <i>b</i> ( $\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$ )	$Y = 1.905e^{-03***} + 1.195e^{-05} x$	0.0227
	Carotenoides ( $\text{mg.g}^{-1}\text{FW}$ )	$Y = 8.364e^{-04*} + 3.863e^{-06} x$	0.0663

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2020).

A alocação de biomassa entre raiz e parte aérea, assim como a eficiência de uso da água (WUE – do inglês Water Use Efficiency) pelas plantas de *P. cinerascens* foram alteradas pela maior aplicação de N, contribuindo com a maior capacidade de absorção de água e aumento da eficiência de uso. Maior investimento em parte aérea, concomitante com maior eficiência de uso da água foram observados a partir da aplicação de  $40 \text{ mg dm}^{-3}$  de N ao substrato (boxplots no interior das Figs. 3A e 4A). Estas razões não foram significativamente alteradas em doses superiores a  $40 \text{ mg dm}^{-3}$  de N no substrato.

**Figura 4** – Taxa fotossintética (assimilação de carbono) e condutância estomática para o *P. cinerascens* (A e B) e *A. longispicus* (C e D) com a adição de N ao substrato estéril vermelho oriundo da mineração em Carajás. Boxplots no interior das figuras A e C representam a eficiência de uso da água para as espécies *P. cinerascens* e *A. longispicus*, respectivamente.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

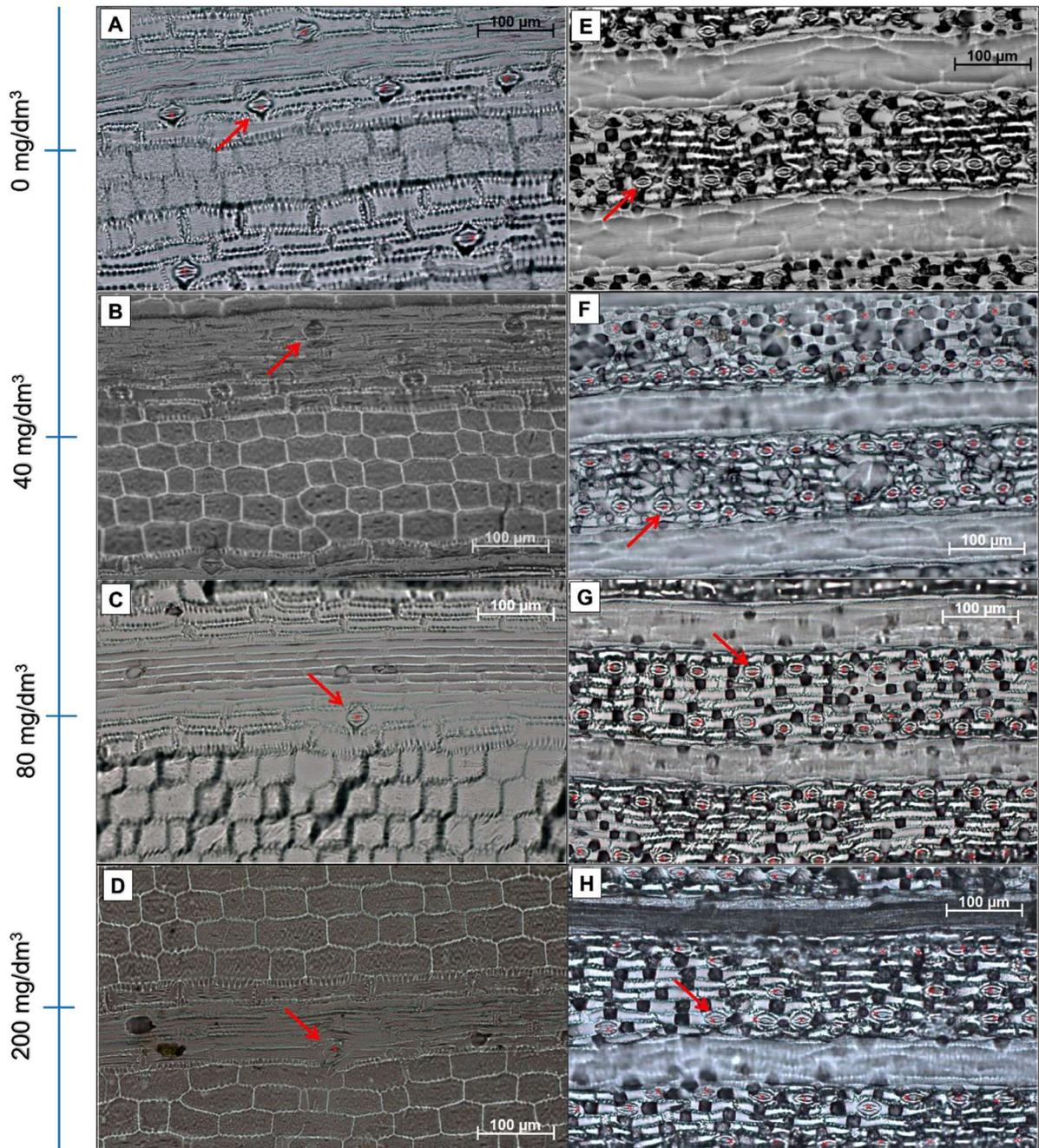
O *A. longispicus*, apesar de apresentar taxa fotossintética e acúmulo de biomassa similar ao *P. cinerascens* no tratamento controle, a adição de N ao substrato não alterou a WUE e a razão raiz: parte aérea (boxplots no interior das Figs. 3C e 4C). Por outro lado, vale destacar o aumento linear na taxa de perfilhamento desta espécie com a adição de N (Fig. 3C), diferente do observado para o *P. cinerascens* (Fig. 3B).

A distribuição da frequência ou densidade estomática nas duas faces da folha (abaxial e adaxial) difere entre as duas espécies. Enquanto o *P. cinerascens* apresenta até cerca de 20x mais estômatos na parte inferior da folha (face abaxial) e, portanto, de classificação anfi-

hipoestomatica (Fig. 5), o número de estômatos entre as duas faces das folhas de *A. longispicus* apresenta razão próximo de 1, ou seja, possui distribuição anfiestomática (Fig. 6).

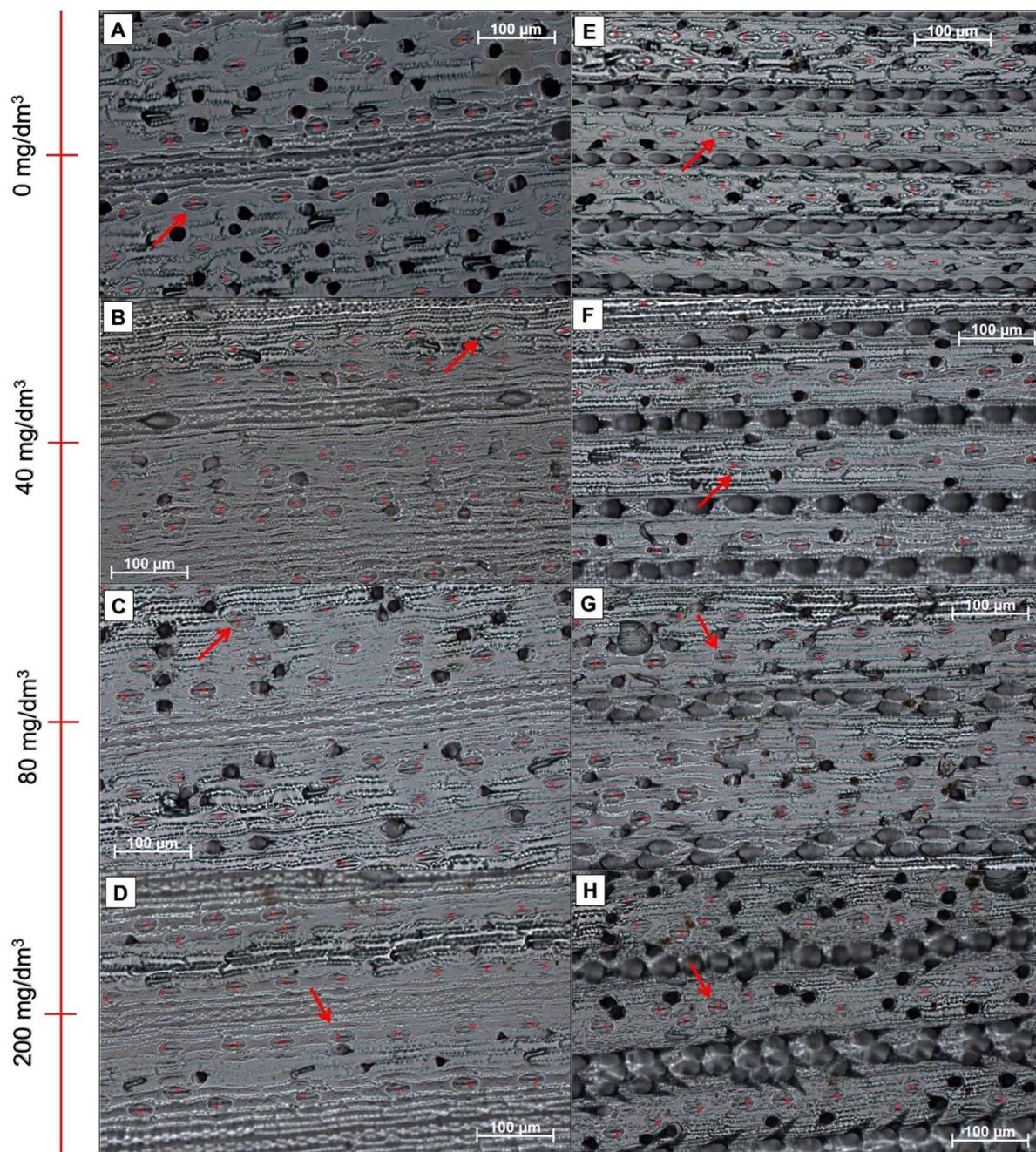
As duas espécies apresentam estômatos em formato de halteres, juntamente com suas células subsidiárias. Com a adição de N ao substrato, a densidade estomática adaxial do *Paspalum* não apresentou alteração, no entanto, para a face abaxial houve uma redução significativa de 21,93% no tratamento com 200 mg/dm<sup>3</sup> de N e, simultaneamente, houve um aumento no diâmetro polar e equatorial. De forma similar, foi observada uma redução significativa da densidade estomática da face abaxial de *A. longispicus* com a aplicação de 200 mg/dm<sup>3</sup> de N ao substrato, concomitante com a redução de diâmetro polar e equatorial dos mesmos. Por outro lado, observou-se aumento da densidade estomática quando 40 mg/dm<sup>3</sup> de N foram adicionados ao substrato.

**Figura 5** – Distribuição dos estômatos na superfície foliar adaxial (A, B, C, D) e abaxial (E, F, G, H) do *P. cinerascens* em diferentes aplicações de N ao substrato.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

**Figura 6** – Distribuição dos estômatos na superfície foliar adaxial (A, B, C, D) e abaxial (E, F, G, H) do *A. longispicus* em diferentes aplicações de N ao substrato.

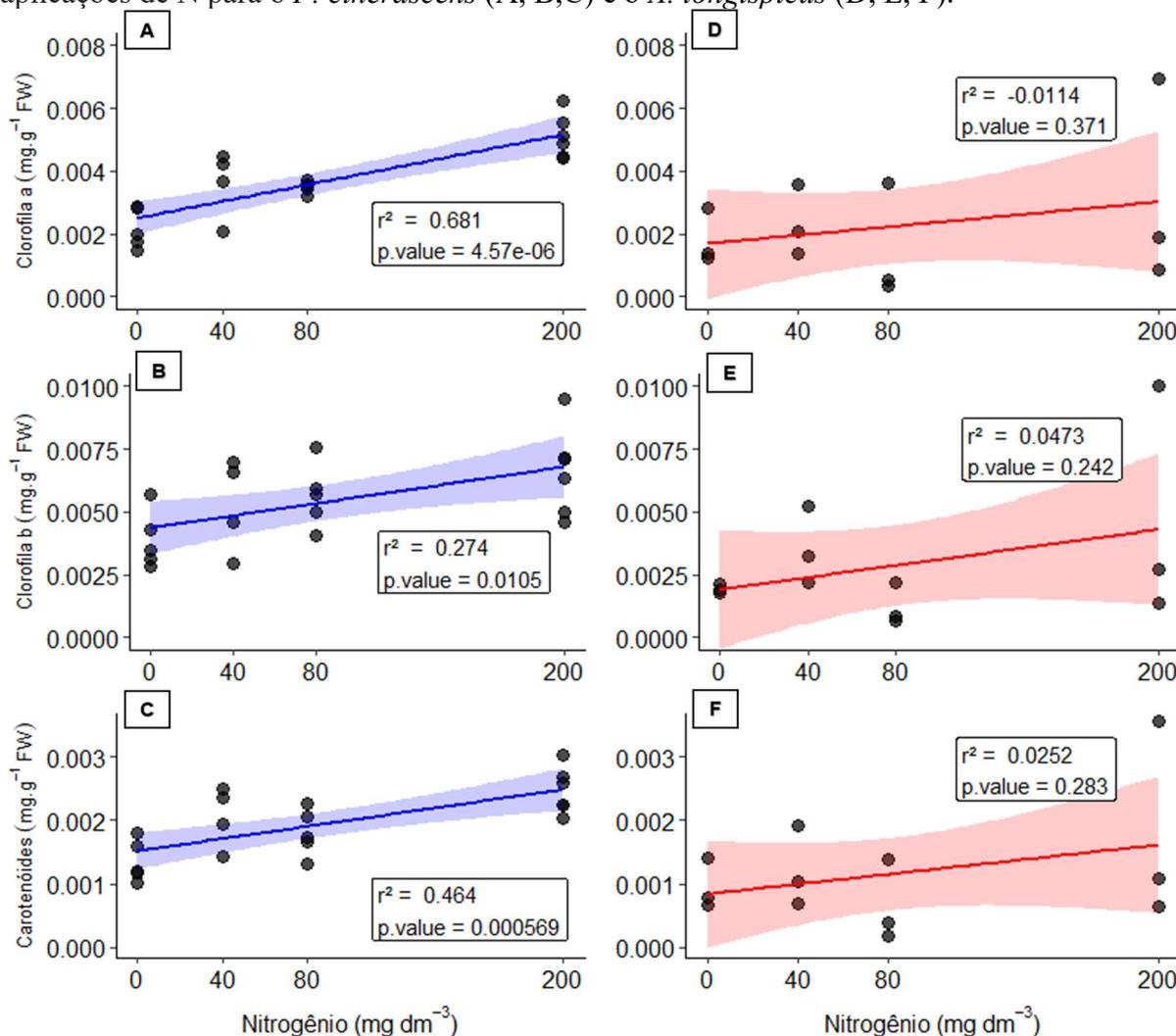


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O aumento da aplicação de N no substrato levou aumento linear da concentração de pigmentos (clorofilas *a* e *b*, carotenoides totais) nas folhas de *P. cinerascens* (Figs. 7A, 7B e 7C). Este aumento é notável para clorofila *a*, onde a concentração na dose de 200 mg de N por dm<sup>3</sup> de substrato alcançou valores superiores a 2x aos obtidos em plantas mantidas em condições controle (0 mg de N por dm<sup>3</sup> de substrato). Assim como observado para trocas

gasosas e biomassa total, a adição de N ao substrato não alterou de forma significativa a concentração de pigmentos nas folhas de *A. longispicus* (Figs. 7D, 7E e 7F).

**Figura 7** – Teor de clorofila *a* e *b* (mg.g<sup>-1</sup>FW) e carotenóides (mg.g<sup>-1</sup>FW) em diferentes aplicações de N para o *P. cinerascens* (A, B,C) e o *A. longispicus* (D, E, F).



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2020).

A concentração de nutrientes foliares apresentou poucas variações com o aumento de N no substrato (Tabela 4). Valores mais altos de N e Mg foram observados a partir da adição de 40 mg dm<sup>-3</sup> de N, onde, mesmo o aumento da aplicação de N não resultou em aumento de concentração deste elemento nas folhas de *P. cinerascens*. A tendência de aumento da concentração de N foliar também foi observada para o *A. longispicus*. Por outro lado, o aumento de N no substrato levou a diminuição da concentração de K. o Cu apresentou aumento de concentração apenas para a maior aplicação de N. De forma similar, o aumento na

concentração de Cu também foi observado em plantas de *A. longispicus* no tratamento com aplicação de 200 mg dm<sup>-3</sup> de N.

**Tabela 3** – Concentração de nutrientes foliares das espécies nativas *paspalum cinerascens* e *axonopus longispicus* cultivados em substrato remanescente da mineração em carajás (estéril vermelho).

	Doses (mg/dm <sup>3</sup> )	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g/kg							mg/kg			
<i>P. cinerascens</i>	<b>0</b>	4,61± 0,95 b	0,66±0,22 a	10,65±1,84 a	2,22±0,21 a	0,97±0,24 b	3,56±0,63 a	11,14±3,16 a	6,99±2,28 b	1885,85±4086,83 a	159,41±49,08 a	29,10±16,51 a
	<b>40</b>	8,35±1,07 a	0,56±0,19 a	7,70±1,25 a	2,41±0,79 a	2,75±1,31 a	1,81±0,55 b	8,01±1,56 a	7,11±1,71 b	168,73±59,62 a	143,53±48,07 a	31,06±7,29 a
	<b>80</b>	6,82±1,53 ab	0,71±0,19 a	8,61±1,16 a	2,06±0,63 a	1,6±0,28 a	1,81±0,46 b	9,48±3,22 a	7,54±1,94 b	203,73±124,37 a	122,34±38,35 a	38,08±26,41 a
	<b>200</b>	7,25±1,77 a	0,61±0,09 a	6,44±1,09 b	1,82±0,48 a	1,99±0,61 a	1,21±0,16 b	8,11±1,90 a	15,32±5,53 a	150,52±29,64 a	130,72±40,18 a	23,68±5,32 a
<i>A. longispicus</i>	<b>0</b>	9,94±2,22 ab	0,52±0,23 a	8,88±1,28 a	1,88±0,36 a	2,24±0,43 a	2,88±0,76 a	8,45±1,19 a	9,91±3,75 b	443,81±303,27 a	285,29±127,71 a	29,01±5,41 a
	<b>40</b>	6,53±1,12 b	0,33±0,11 a	6,13±0,08 a	1,76±0,23 a	1,83±0,3 a	2,16±0,23 a	8,5±1,25 a	8,10±0,66 b	667,37±373,24 a	528,22±33,9 a	38,41±2,17 a
	<b>80</b>	11,4±0,97 a	0,72±0,36 a	11,24±3,67 a	1,98±0,37 a	2,26±0,45 a	3,44±1,49 a	10,84±3,59 a	8,91±2,87 b	353,05±68,79 a	401,44±77,85 a	34,13±5,29 a
	<b>200</b>	12,44±2,29 a	0,74±0,05 a	10,94±1,12 a	2,24±0,11 a	2,42±0,31 a	3,68±0,55 a	10,37±2,55 a	23,17±5,42 a	352,12±73,06 a	398,03±79,71 a	35,14±3,58 a

## 5 DISCUSSÃO

Por ser um dos nutrientes que mais limitam o crescimento das plantas em ecossistemas naturais (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2006; MALAVOLTA, 2006; MITHARE; GHOSH, 2019; SCHLICHTING, 2012; WANG *et al.*, 2018), a adição de N ao substrato estéril vermelho, oriundo da mineração em Carajás, levou a alterações fisiológicas que beneficiaram fortemente o crescimento de *P. cinerascens*, embora o mesmo efeito não tenha sido observado para as plantas de *A. longispicus*. Em substratos pobres em matéria orgânica, como o empregado neste estudo, a disponibilidade de N é normalmente reduzida (ALLEN *et al.*, 2005; SCHIAVO, 2005) e a aplicação de N sob a forma de fertilizantes pode ser uma alternativa para reduzir sua escassez e favorecer ao bom desenvolvimento da vegetação. O aumento da disponibilidade de N no substrato possibilitou que as plantas de *P. cinerascens* absorvessem mais N para síntese de uma maior quantidade de pigmentos fotossintetizantes e elevassem a capacidade de fixação de carbono. Apesar de o aumento linear dos pigmentos com a adição de N, a taxa de fotossíntese, e as demais variáveis de trocas gasosas, apresentaram o maior rendimento em quantidades inferiores a dose mais alta de N às plantas de *P. cinerascens*. Esta saturação da taxa fotossintética em doses iniciais de N ocorre devido a outras variáveis também afetarem tanto a assimilação quanto a distribuição do carbono no interior da planta. Por outro lado, a ausência de aumento significativo de pigmentos pelas plantas de *A. longispicus* fez com que as trocas gasosas e, conseqüentemente o ganho de biomassa, não apresentassem ganho com o aumento da disponibilidade de N no substrato.

Moléculas de carbono são como os blocos de construção para a estrutura dos vegetais. Juntamente com a turgescência celular (determinada pela razão entre a perda e a absorção de água), responsável pela pressão na parede e expansão dos tecidos, o carbono fixado pelo processo fotossintético determina o acúmulo de biomassa e crescimento dos vegetais (LAWLOR; CORNIC, 2002; YORDANOV; VELIKOVA; TSONEV, 2000). O ganho de biomassa acumulada pelas plantas de *P. cinerascens* com a adição de N ao substrato descreveu o mesmo comportamento da obtido pela taxa fotossintética, havendo um forte ganho inicial, o qual reduz sua intensidade até atingir o máximo por volta de 80 mg de N dm<sup>-3</sup> de substrato. Esse ganho inicial em biomassa acumulada pode estar associado ao potencial de fixação de carbono da espécie e à reduzida limitação para as diferentes variáveis que determinam as trocas gasosas, como a manutenção da condutância estomática, determinada sobretudo pela quantidade, tamanho e abertura dos estômatos para entrada de CO<sub>2</sub> (a qual

ocorre concomitante com a perda de água e requer um suprimento continuado para evitar a redução da turgescência das células-guarda), resistência hidráulica associada a captação e redistribuição de água na planta, velocidade máxima de carboxilação, entre outros (BRODRIBB *et al.*, 2009; MARTINS *et al.*, 2011).

Plantas de *P. cinerascens* aumentaram a eficiência de uso da água com o aumento da aplicação de N ao substrato. Esse ganho pode estar associado à diminuição do número de estômatos na epiderme celular que também ocorreu com o aumento da aplicação de N, sobretudo na face abaxial onde foi observada a grande maioria dos estômatos. Apesar de a redução do número de estômatos normalmente reduzir a condutância estomática, o aumento dos diâmetros polar e equatorial possivelmente compensaram tal perda e permitiram não só o aumento da condutância como o maior controle de abertura dos mesmos, desta forma permitindo o aumentando a razão de CO<sub>2</sub> absorvido pela quantidade de moléculas de H<sub>2</sub>O perdida, i.e. aumento da eficiência de uso da água (CAMARGO; MARENCO, 2011; OLIVEIRA; MIGLIORANZA, 2013; LAKE *et al.*, 2001; NEJAD e MEETEREN, VAN, 2005; PEARCE *et al.*, 2006). Estas alterações fisiológicas não foram observadas para as plantas de *A. longispicus*. De fato, plantas desta espécie apresentam elevada eficiência de uso da água, sendo até superior à de *P. cinerascens* em condições controle (sem adição de fertilizantes). No entanto, o incremento de N ao substrato aumentou a eficiência de *P. cinerascens* para valores que não diferem dos observados em *A. longispicus*. Esta elevada eficiência de uso da água é esperada para plantas adaptadas às condições ambientais das cangas, onde há um período de restrição hídrica bastante acentuado (SKIRY CZ *et al.*, 2014). Ambas as espécies avaliadas neste estudo são perenes e desenvolveram mecanismos para tolerância ao déficit hídrico, o qual está associado, nesta região, a forte radiação (PAR de mais de 2.500  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  e com a presença de elevados índices UV) e temperaturas elevadas (GIANNINI *et al.*, 2016; ZAPPI *et al.*, 2018), conferindo a estas espécies características desejáveis para iniciar revegetação de áreas degradadas, sobretudo a espécie *P. cinerascens* devido ao ganho de biomassa associada a alta eficiência de uso água que apresentou em substrato oriundo da mineração em Carajás após fertilização. Vale destacar a alta capacidade de absorção e transporte de água que esta espécie apresentou, pois apesar da redução na razão raiz: parte aérea com o aumento de N no substrato, não houve prejuízos para a assimilação de carbono, mas sim o aumento das trocas gasosas e da perda de água para atmosfera.

As duas espécies estudadas aumentaram o número de perfilhos com a adição de N ao substrato. Aumento na taxa de perfilhamento com a adição de N ao ambiente tem sido

reportado em diversas espécies (VIEJO, 2019; MUFLAHI, 2017), podendo trazer ganhos para a produção de biomassa e que, na maioria das vezes, podem ser também traduzidos em ganhos para a produção de sementes/grãos (MUFLAHI, 2017). Em plantas de *P. cinerascens*, o aumento na taxa de perfilhamento resultou em ganho de biomassa, sobretudo para a parte aérea. Enquanto o aumento no número de perfilhos em plantas de *A. longispicus* não incrementou a biomassa mesmo com a maior disponibilidade de N no substrato, o que pode estar associado a um crescimento mais lento desta espécie e à menor capacidade de fixação de carbono. No entanto, taxas de perfilhamento elevadas podem também reduzir a produção de estruturas reprodutivas viáveis devido a uma maior competição por recursos, sobretudo carboidratos (CONFORTIN, 2012).

Poucos nutrientes apresentaram alterações significativas entre os tratamentos aplicados. Embora a concentração na biomassa não sendo alterada, denotando similaridade nutricional entre os diferentes tratamentos, uma maior quantidade de nutrientes foi retirada do substrato pelas plantas que apresentaram maior crescimento, neste caso as plantas de *P. cinerascens* que foram cultivadas com a adição de N. A maior concentração de Cu no tecido foliar de *P. cinerascens* pode ter ocorrido devido este fazer parte de vários compostos orgânicos, como proteínas e enzimas vitais ao metabolismo vegetal, apresentar participação em vários processos fisiológicos, demonstrando comportamento aumento de concentração associado ao aumento das taxas de fotossíntese, respiração e metabolismo de carboidratos, e, portanto, essencial para o crescimento da planta. (KABATA-PENDIAS, 2010; BROADLEY et al., 2012). Para os demais nutrientes, a maior quantidade de nutrientes retirada encontra-se diluída na maior quantidade de biomassa acumulada pela planta, ou seja, estes nutrientes foram diluídos no tecido vegetal, mantendo a concentração (CARMO et al., 2011; HIKOSAKA, 2004).

## 6 CONCLUSÕES

As duas espécies de Poaceae nativas das cangas de Carajás podem ser propagadas vegetativamente através da separação de perfilhos. Este tipo de propagação apresentou maior sucesso para a espécie *A. longispicus* quando comparada ao *P. cinerascens*. Apesar de o crescimento de *A. longispicus* não ter sido alterado pela maior disponibilização de N no substrato, um maior sucesso de crescimento destes perfilhos no substrato estéril vermelho oriundo da mineração foi observado para o *P. cinerascens*. Esta espécie aumentou em mais de 2x a capacidade de fixação de carbono com o aumento de N no substrato, perfazendo em acúmulo de biomassa superior em cerca 3x ao tratamento controle, ou seja, sem a adição de N. Ademais, ajustes fisiológicos como à diminuição do número de estômatos na epiderme celular, sobretudo na face abaxial onde foi observada a grande maioria dos estômatos permitiram não só o aumento da condutância como o maior controle de abertura dos mesmos devido ao aumento dos diâmetros polar e equatorial, permitindo a uma maior eficiência de uso da água. Ambas as espécies apresentaram potencial uso para emprego na revegetação em áreas de mineração em Carajás. O *P. cinerascens* apresentou crescimento otimizado após correção de pH, fertilização e adição de 80 mg de N por dm<sup>3</sup> de substrato estéril vermelho e o *A. longispicus* apresenta alta taxa de sobrevivência dos perfilhos.

## 7 RECOMENDAÇÕES

Avaliações das propriedades físicas e bioquímicas do solo vem sendo realizada nas áreas revegetadas em Carajás. As áreas amostradas estão entre as principais áreas destinadas à recuperação para compensação ambiental. Os resultados mostram que as áreas a serem revegetadas apresentam reduzida atividade microbiológica no solo e baixa fertilidade. Isso se traduz em baixos teores de matéria orgânica e de nutrientes disponíveis no solo para as plantas. Dessa maneira, destaca-se a importância do uso de fertilizantes para promover melhor crescimento e desenvolvimento inicial da vegetação nas áreas em recuperação. A partir desses resultados e do comportamento das espécies estudadas, ambas as espécies apresentaram potencial uso para emprego na revegetação em áreas de mineração em Carajás.

As espécies selecionadas são capazes de colonizar vastas áreas, incluindo regiões com restrição hídrica e com incidência de altas temperaturas e intensa radiação. Em geral, espécies da família Poaceae apresentam características desejáveis para efetuar a RAD em Carajás. *Paspalum cinerascens* e *Axonopus longispicus* figuram entre as espécies que apresentam ampla ocorrência nos corpos de canga das serras Sul, Norte, Bocaina e Tarzan, cobrindo

vastas áreas e com crescimento vigoroso. Observa-se, durante a estação chuvosa, o aparecimento de elevado número de perfilhos na base das touceiras logo com as primeiras chuvas, sugerindo que as partes vegetativas destas espécies sobrevivem ao período de secas das cangas. Tais características são benéficas para a RAD, sobretudo em etapas iniciais, quando a revegetação para recobrimento rápido do solo é bastante importante para evitar problemas como erosão. É importante destacar que a elevada capacidade de fixação de C e crescimento rápido, assim como por apresentarem sistema radicular fasciculado e parte aérea com crescimento cespitoso, contribui para o controle de processos erosivos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASAMAA, K.; SOBER, A.; RAHI, M. Leaf anatomical characteristics associated with shoot hydraulic conductance, stomatal conductance and stomatal sensitivity to changes of leaf water status in temperate deciduous trees. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 28, n.8, p. 765–774, 2001.
- AERTS, R. Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns. **Journal of Ecology**, v. 84, n. 4, p. 597–608, 1996.
- ALLEN, S. C. *et al.* Nitrogen mineralization in a pecan (*Carya illinoensis* K. Koch)–cotton (*Gossypium hirsutum* L.) alley cropping system in the southern United States. **Biology and Fertility of Soils**, v. 41, p. 28–37, 2005.
- BASTOS, M. N. C. A flora “rupestre” da Serra de Carajás (gramineae): 2. Gênero *Axonopus* P. Beauv. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Botânica**, v. 7, n.2, p. 473-483, 1991.
- BAUMGARTNER, J. G.; LOURENÇO, R. S.; MALAVOLTA, E. Studies on the mineral nutrition and fertilization of passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.). V. **Mineral fertilization. Científica**, v. 6, n. 3, p. 361–367, 1978.
- BELTRÃO, N. E. M. *et al.* Trocas gasosas e características fisiológicas em plantas de algodoeiro sob diferentes temperaturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 8.; COTTON EXPO, 1., 2011, São Paulo. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2011. p. 1234–1241. 1 CD-ROM.
- BERTOLINO, L. T.; CAINE, R. S.; GRAY, J. E. Impact of stomatal density and morphology on water-use efficiency in a changing world. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 2019.
- BEZERRA, R. C. A. *et al.* Características agronômicas de *Urochloa mosambicensis* sob diferentes níveis de fósforo e nitrogênio. **Magistra**, v. 30, p.268-276, 2019.
- BIGOLIN, M.F. **Eficiência de quatro fontes de adubação nitrogenada em cobertura e rendimento de grãos na cultura do trigo** [trabalho de conclusão de curso]. Ijuí: Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Departamento de Estudos Agrários. Curso de Agronomia, 2018.
- BINDRABAN, P. S. *et al.* Revisiting fertilizers and fertilization strategies for improved nutrient uptake by plants. **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, p. 897–911, 2015.
- BOTREL, M. A.; NOVAES, L. P.; ALVIM, M. J. **Características forrageiras de algumas gramíneas tropicais**. Juiz de Fora: EMBRAPA-CNPGL, 1998.
- BRASIL. Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o artigo 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 19 jul. 2000. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm). Acesso em: 10 ago. 2019

BRODRIBB, T. J. *et al.* Evolution of stomatal responsiveness to CO<sub>2</sub> and optimization of water-use efficiency among land plants. **New Phytologist**, v. 183, n. 3, p. 839-847, 2009.

BROADLEY, M. *et al.* Function of nutrients: micronutrients. In: MARSCHNER, P. **Marchner's mineral nutrition of higher plants**. 3rd. ed. Londres, Academic Press, 2012.

BURMAN, A. G.; BASTOS, M. N. do. A new species of *Thrasya* H.B.K. (Graminae) from Brazil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Botânica**, v. 4, n.2, p. 235-241, 1988.

CAMARGO, M. A. B.; MARENCO, R. A. Density, size and distribution of stomata in 35 rainforest tree species in Central Amazonia. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 2, p. 205-2012, 2011.

CAMINHA, F. O. *et al.* Estabilidade da população de perfilhos do capim-marandu sob lotação contínua e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 2, p. 213-220, 2010.

CARMO, G. A. do *et al.* Teores foliares, acúmulo e partição de macronutrientes na cultura da abóbora irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 512-518, 2011.

CARVALHO, F. F. **Eficiência potencial do uso do nitrogênio e fósforo na fotossíntese ao longo de um gradiente de perturbação antrópica da Mata Atlântica** [dissertação]. São Paulo: Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, 2017.

CARVALHO, P. S. L. de *et al.* Sustentabilidade socioambiental da mineração. **BNDES Setorial**, v. 47, p. 333-390, 2018.

CIAMPITTI, I. *et al.* Maize nutrient accumulation and partitioning in response to plant density and nitrogen rate: I. Macronutrients. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 3, p. 783-795, 2013.

CONFORTIN, A. C. C. **Dinâmica de crescimento de gramíneas nativas do Rio Grande do Sul submetidas a dois intervalos entre pastoreios** 2012. [tese]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2012.

DELFINI, C. *et al.* ***Axonopus longispicus* (Döll) Kuhl.** 2018. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB123695>. Acesso em: 10 ago 2019.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. *et al.* Fluxo de nutrientes em ecossistemas de pastagens: impactos no ambiente e na produtividade. In: PEDREIRA, C. G. S. *et al.* (Eds.) **As pastagens e o meio ambiente**. Piracicaba: FEALQ, 2006. p.439-506.

GASTAUER, M. *et al.* Mine land rehabilitation: modern ecological approaches for more sustainable mining. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 1409-1422, 2018.

GIANNINI, T. C. *et al.* Selecting plant species for practical restoration of degraded lands using a multiple-trait approach. **Austral Ecology**, v. 42, n. 5, p. 510-521, 2016.

GRAHAM, P.H.; VANCE, C.P. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. **Field Crops Research**, v. 65, n. 2-3, p. 93-106, 2000.

GRAMINHO, L. A. **Resposta de híbridos de *paspalum notatum* a fertilização nitrogenada e a consorciação com leguminosas** [tese]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2018.

HERNANDES, A. *et al.* Doses, sources and periods of nitrogen application in rice cultivars. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 307–312, 2010.

HETHERINGTON, A. M.; WOODWARD, F.I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, n. 424, p. 901–908, 2003.

HIKOSAKA, K. Interspecific difference in the photosynthesis-nitrogen relationship: patterns, physiological causes, and ecological importance. **Journal of Plant Research**, v. 117, n. 6, p. 481–494, 2004.

HOLOU, R. A. Y.; STEVENS, G.; KINDOMIHOU, V. Impact of nitrogen fertilization on nutrient removal by corn grain. **Crop Management Research**, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2011.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Plano de manejo para uso múltiplo da Floresta Nacional de Carajás**. Capítulo 1 - aspectos gerais. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2003. E-book. Disponível em: [http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/flona\\_carajas.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/flona_carajas.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2019.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de manejo da Floresta Nacional de Carajás**. Volume II - planejamento. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2016. E-book. Disponível em: [http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/biodiversidade/UC-RPPN/DCOM\\_ICMBio\\_plano\\_de\\_manejo\\_Flona\\_Carajas\\_volume\\_II.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/biodiversidade/UC-RPPN/DCOM_ICMBio_plano_de_manejo_Flona_Carajas_volume_II.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2019.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de pesquisa geossistemas ferruginosos da Floresta Nacional de Carajás**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2017. E-book. Disponível em: [http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/plano\\_de\\_pesquisa\\_flona\\_carajas\\_-\\_06-09-2017\\_-\\_final\\_2.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/plano_de_pesquisa_flona_carajas_-_06-09-2017_-_final_2.pdf). Acesso em: 10 ago. 2019.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. Londres: McGraw-Hill, 1940.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

KADAM, S.; PAWAR, S.; JAKKAWAD, S. Response of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) to levels and scheduling of nitrogen under south Gujarat condition. **International Journal of Chemical Studies**, v. 6, n. 61, p. 32–35, 2019.

KLIEMANN, H. J. *et al.* Nutrição mineral e adubação do maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims). In: HAAG, H.P. **Nutrição mineral e adubação de fruteiras tropicais no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 247-284.

KUHLMANN, J. G. Comissão Rondon. Comissão de Linhas Telegraphicas Estrategicas de Matto-Grosso ao Amazonas. **Botanica**: Parte XI: Gramineas (1º fasciculo). Rio de Janeiro: Papelaria Macedo, 1922.

LAKE, J. A. *et al.* Signals from mature to new leaves. **Nature**, v. 411, p. 154, 2001.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 2, p. 275- 294, 2002.

LUZ, M. J. S.; FERREIRA, G. B.; BEZERRA, J. R. C. **Adubação e correção do solo: procedimentos a serem adotados em função dos resultados da análise do solo**. Brasília: Embrapa, 2002.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006.

MARTINS, C. R. *et al.* Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre: a importância na química da atmosfera. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n. 5, p. 28-41, 2003.

MARTINS, T. F. **Distribuição regional de minerais hidrotermais na Folha Rio Verde, província mineral de Carajás** [trabalho de conclusão de curso]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2019.

MENEGATTI, D. P. *et al.* Nitrogênio na produção de matéria seca, teor e rendimento de proteína bruta de três gramíneas do gênero *Cynodon*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 3, p. 633–642, 2002.

MENGARDA, L. S. *et al.* Disponibilidade de nitrogênio, sobrevivência e contribuição dos perfilhos ao rendimento de grãos do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 183-191, 2011.

MITRE, S. K. *et al.* Nutrient and water dynamics of Amazonian canga vegetation differ among physiognomies and from those of other neotropical ecosystems. **Plant Ecology**, v. 219, n. 9, p. 1341-1353, 2018.

MOTA, N. F. O. *et al.* Vegetação sobre sistemas ferruginosos da Serra dos Carajás. In: CARMO, F. F.; KAMINO, L. H. Y. (orgs.). **Geossistemas ferruginosos no Brasil**. Belo Horizonte: Instituto Prístino, 2015. p. 289-315.

MOTA, N.F.O. *et al.* Amazon canga: the unique vegetation of Carajás revealed by the list of seed plants. **Rodriguésia**, v. 69, n. 3, p. 1435–1488, 2018.

MUFLAHI, A. A. M.; BASUAID, A. S. Effect of nitrogen fertilizer and its application efficiency on two local sorghum cultivars *Sorghum bicolor* L. Moench. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 4, p. 236-241, 2017.

NEJAD, A. R.; MEETEREN, U. Stomatal response characteristics of *Tradescantia virginiana* grown at high relative air humidity. **Physiologia Plantarum**, n. 125, p. 324–332, 2005.

NUNES, J. A. **Florística, estrutura e relações solo-vegetação em gradiente fitofisionômico sobre canga, na Serra Sul, FLONA de Carajás - Pará** [dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Botânica, 2009.

OLIVEIRA, E. C.; MIGLIORANZA, É. Dimensões e densidade estomática em diferentes variedades de mandioca. **Cultivando o Saber**, v. 6, n. 4, p. 201–213, 2013.

OLIVEIRA, R. C. de; VALLS, J. F. M. **Paspalum cinerascens (Döll) A. G. Burm. & C.N. Bastos.** 2015. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/FichaPublicaTaxonUC/FichaPublicaTaxonUC.do?id=FB32311>. Acesso em: 10 ago. 2019.

OSORIO FILHO, B. D. *et al.* Promoção de crescimento de arroz por rizóbios em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v.46, n. 3, p. 478-485, 2016.

PASLEY, H. R. *et al.* Nitrogen fertilizer rate increases plant uptake and soil availability of essential nutrients in continuous maize production in Kenya and Zimbabwe. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 115, n. 3, p. 373–389, 2019.

PEARCE, D. W. *et al.* Stomatal characteristics of riparian poplar species in a semi-arid environment. **Tree Physiology**, v. 26, n. 2, p. 211-218, 2006.

PYNGROPE, D.; MITHARE, P.; GHOSH, G. Influence of different planting system and levels of nitrogen on growth, yield, quality and economics of rice (*Oryza Sativa* L.) - a review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, n. 1, p. 2161–2172, 2019.

RAMOS, S. J. *et al.* Plant growth and nutrient use efficiency of two native Fabaceae species for mineland revegetation in the eastern Amazon. **Journal of Forestry Research**, p. 1-7, 2019.

SAHOO, P. K. *et al.* Geochemistry of upland lacustrine sediments from Serra dos Carajás, Southeastern Amazon, Brazil: implications for catchment weathering, provenance, and sedimentary processes. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 72, p. 178–190, 2016.

SAHU, K. C.; KARIALI, E.; MOHAPATRA, P. K. Tiller dominance in rice is dependent on assimilate concentration of the panicle during grain filling. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 9, n. 4, p. 402–406, 2004.

SAMAL, D. *et al.* Potassium uptake efficiency and dynamics in the rhizosphere of maize (*Zea mays* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.) and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) evaluated with mechanistic model. **Plant Soil**, v. 332, n. 1, p. 105–121, 2010.

SANTOS, P. L. F.; CASTILHO, R.M.M. Relação entre teor de clorofila e nitrogênio foliar em grama esmeralda cultivada em substratos. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v. 9, n. 4, p. 51–54, 2015.

SANTOS, P. L. F.; CASTILHO, R.M.M.; GAZOLA, R.P.D. Pigmentos fotossintéticos e sua correlação com nitrogênio e magnésio foliar em grama bermuda cultivada em substratos. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 1, p. 92–101, 2019.

SCALON, M. C.; WRIGHT, I. J.; FRANCO, A. C. To recycle or steal? Nutrient resorption in Australian and Brazilian mistletoes from three low-phosphorus sites. **Oikos**, v. 126, n. 1, p. 32–39, 2017.

SCHIAVO, J. A. **Revegetação de áreas degradadas pela extração de argila, com espécies micorrizadas de *Acacia mangium*, *Sesbania virgata* E *Eucalyptus camaldulensis*** [tese]. Campo de Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2005.

SCHLICHTING, A. F. **Cultura do milho submetida a tensões de água no solo e doses de nitrogênio** [dissertação]. Rondonópolis: Universidade Federal de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2012.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W.S.; ELICEIRI, K.W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, n. 7, p. 671–675, 2012.

SEGATTO, F. B. *et al.* Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p. 1597-1601, 2004.

SHIRASUNA, R. T; FILGUEIRAS, T.S.; BARBOSA, L.M. Poaceae do Rodoanel Mario Covas, trecho sul, São Paulo, SP, Brasil: florística e potencial de uso na restauração de áreas degradadas. **Hoehnea**, v. 40, n. 3, p. 521–536, 2013.

SILVA, M. A. **Arranjos político-institucionais: a criação de novos municípios, novas estruturas de poder e as lideranças locais - a divisão territorial de Marabá na década de 1980** [tese]. Belém: Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, 2006.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**, n. 8, p. 1–13, 2007.

SILVA, J. R. *et al.* Initial growth of Fabaceae species: combined effects of topsoil and fertilizer application for mineland revegetation. **Flora**, v. 246–247, p. 109–117, 2018.

SKIRY CZ, A. *et al.* Canga biodiversity, a matter of mining. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 1–9, 2014.

SOUZA, F. C. R.; CARMO, F.F. Geossistemas ferruginosos no Brasil. In: CARMO, F.F.; KAMINO, L. H. Y. **Geossistemas ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015, p. 47-76.

VIANA, P. L. *et al.* Flora of the cangas of the Serra dos Carajás, Pará, Brazil: history, study area and methodology. **Rodriguesia**, v. 67, n. 5esp., p. 1107–1124, 2016.

VIANA, P. L. *et al.* Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: Poaceae. **Rodriguesia**, v. 69, n. 3, p. 1311–1368, 2018.

VIEJO, M. S. C. **Respuesta del pasto “Tanner” (Brachiaria arrecta) a diferentes niveles de nitrógeno en la zona de Babahoyo** [trabalho de conclusão de curso]. Babahoyo (Ecuador): Universidad Técnica de Babahoyo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Carrera de Ingeniería Agronómica, 2019.

VINHAL-FREITAS, I. C.; RODRIGUES, M. B. Fixação biológica do nitrogênio na cultura do milho. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 31, n. 2, p. 143–154, 2010.

WANG, Y. *et al.* Effects of nitrogen and tiller type on grain yield and physiological responses in rice. **AoB PLANTS**, v. 9, n. 2, p. 1-14, 2017.

WANG, Y. *et al.* Synthesis of climate, soil factors, and nitrogen management practices affecting the responses of wheat productivity and nitrogen use efficiency to nitrogen fertilizer in China. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 10, 2018.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, n. 3, p. 307–313, 1994.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant response to drought, acclimation, and stress tolerance. **Photosynthetica**, v. 38, p.171- 186, 2000.

ZAPPI, D. C. *et al.* **Plantas nativas para recuperação de áreas de mineração em Carajás**. Belém: Instituto Tecnológico Vale (ITV), 2018.