

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

Título: Propagação e Crescimento de Gramíneas Nativas dos Afloramentos Rochosos de Carajás, Amazônia Oriental.	
PROD. TEC. ITV DS – N016/2020	
Classificação: () 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 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.

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.

CDD.23 ed. 584.98115

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 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

1	INTRODUÇÃO	4
2	OBJETIVO	6
3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	6
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
4	RESULTADOS	11
5	DISCUSSÃO	21
6	CONCLUSÕES.....	24
7	RECOMENDAÇÕES	24
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

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

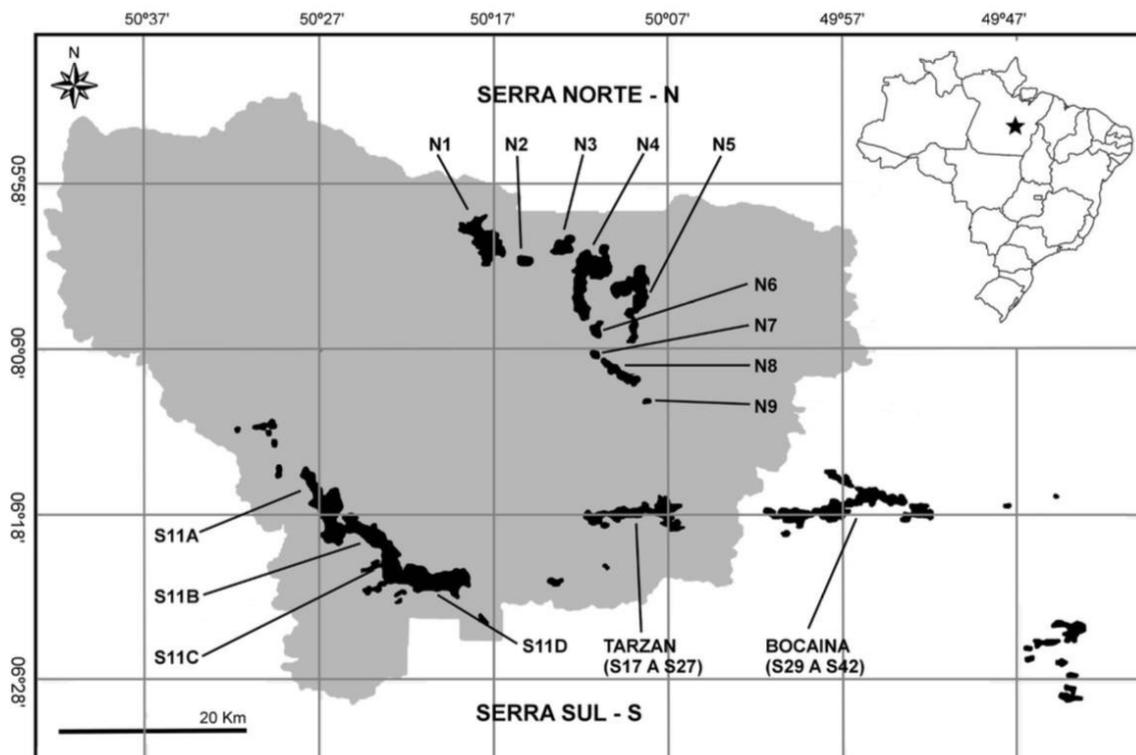
Verificar o potencial de propagação e avaliar o crescimento das Gramíneas *Axonopus longispicus* e *Paspalum cinerascens* em função da adição de N em substrato estéril vermelho de mineração em Carajás.

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 ₂ O)	P	K	S	Ca	Mg	Al	B	Zn	Fe	Mn	Cu	CTC	V	MO
				mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³			mg dm ⁻³					cmolc dm ⁻³	%	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⁻³ (Na₂PO₄H₂O); 100 mg K dm⁻³ (KCl); 60 mg S dm⁻³; 0.5 mg B dm⁻³ (H₃Bo₃); 5 mg Zn dm⁻³ (ZnSO₄ 7.H₂O); 1.5 mg Cu dm⁻³ (CuSO₄.7H₂O); 0.15 mg Mo dm⁻³ ((NH₄)₆Mo₇O₂₄ .4.H₂O), 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[®]. O substrato foi mantido úmido com reposição diária de água. As bandejas com os perfilhos foram levadas para câmara de crescimento tipo Fitotron[®], 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⁻²s⁻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.

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 dm³, composto por quatro tratamentos, sendo: controle (sem aplicação de fertilizantes) e três com diferentes doses de N (40, 80 e 200 mg dm⁻³). A adição de N foi fracionada em 3 aplicações em intervalos de 30 dias, sendo utilizada ureia (CH₄N₂O, 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^a), concentração de CO₂ 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 mm², 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.

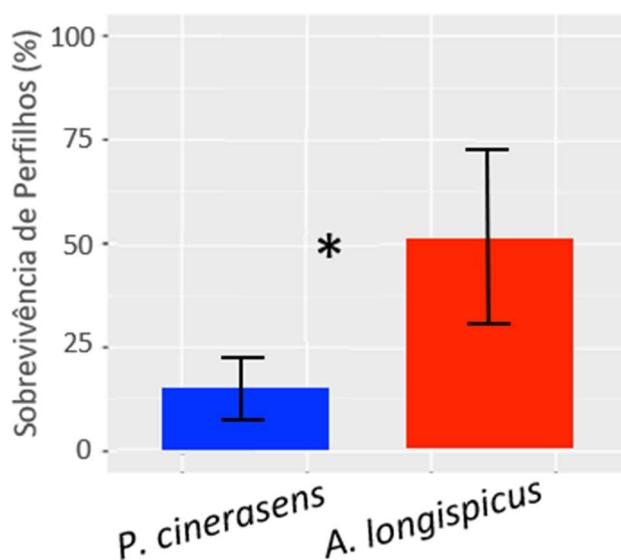
3.4 ANÁLISE DE DADOS

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).

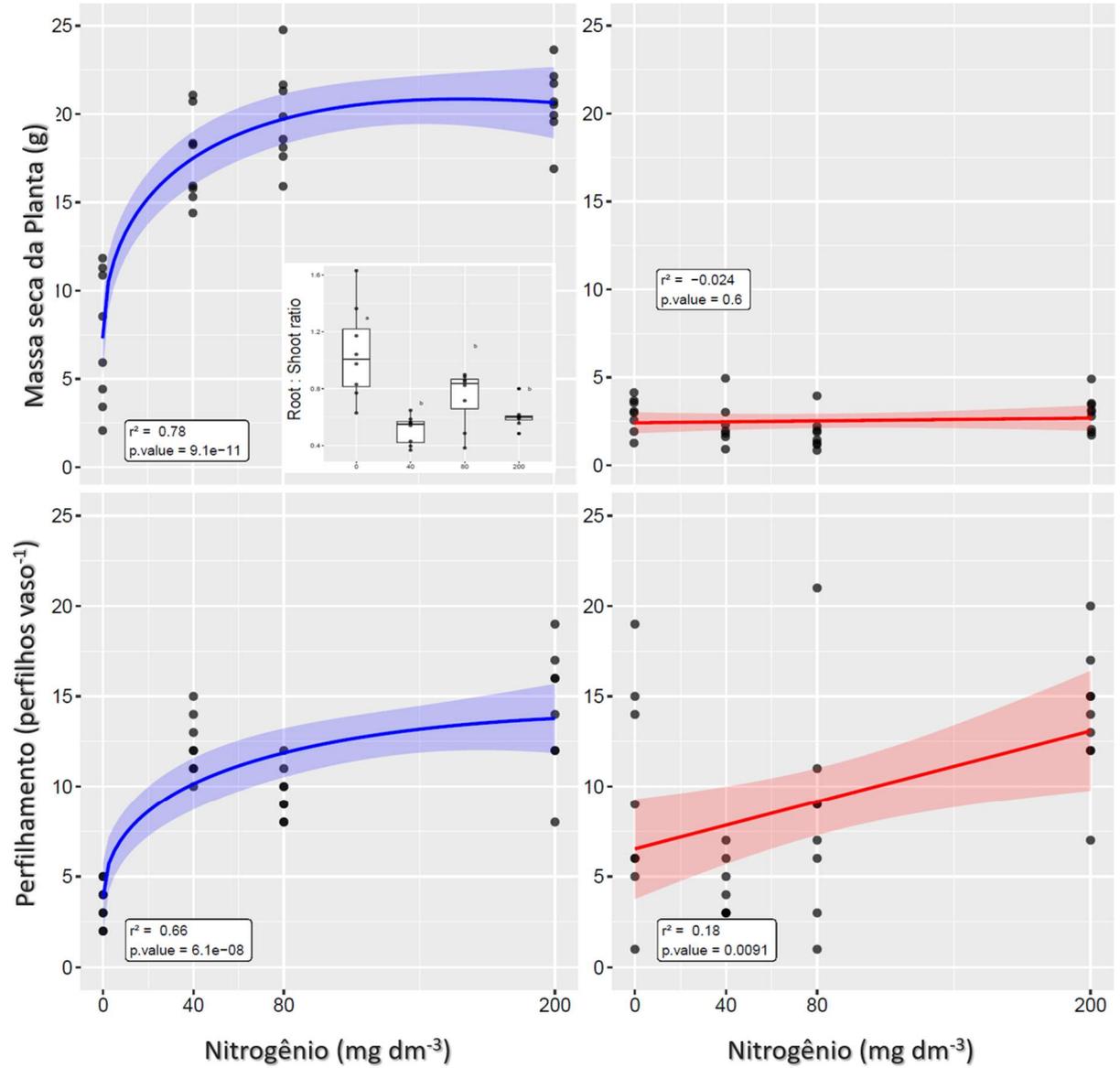
Figura 2 – Taxa de sobrevivência de perfilhos de *Axonopus longispicus* de *Paspalum cinerascens* em condições controladas. * representa a observação de diferença significativa entre as médias após teste t de Student em $P < 0,01$.



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 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 mg dm^{-3} de N (fotossíntese = 86.68 e biomassa = 73.69 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.

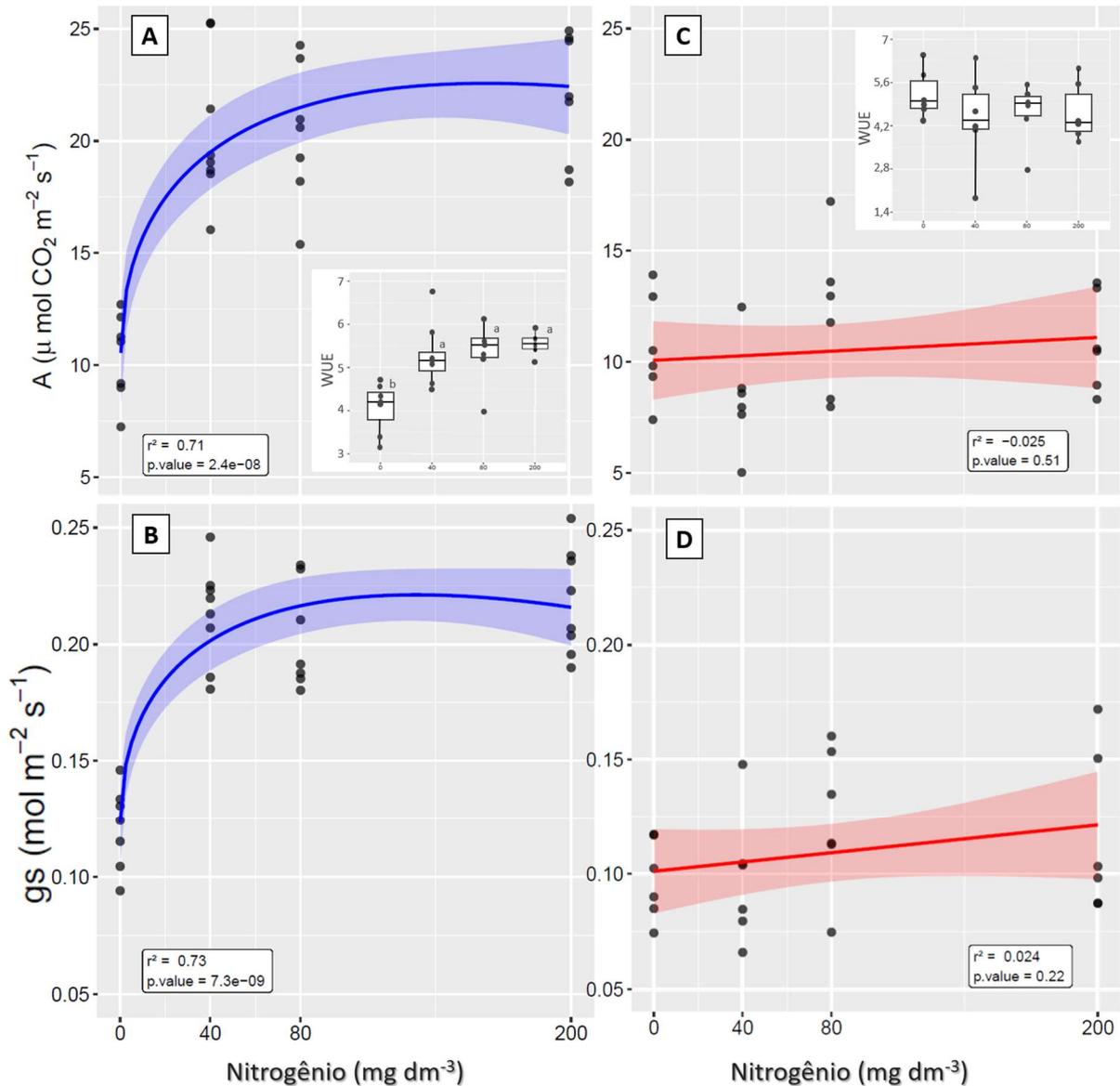
Espécie			Variáveis	Modelos	R ²
<i>cin</i>	<i>er</i>	<i>as</i>	Plant dry mass (g)	$Y = -0.08545 x^{***} + 2.15228^{***} x^{0.5} +$	0.78

		7.2975***	
	Perfilhos	$Y = 6.81548*** + 0.05179*** x$	0.66
	Fotossíntese (μmolCO_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 (μmolCO_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 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 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).

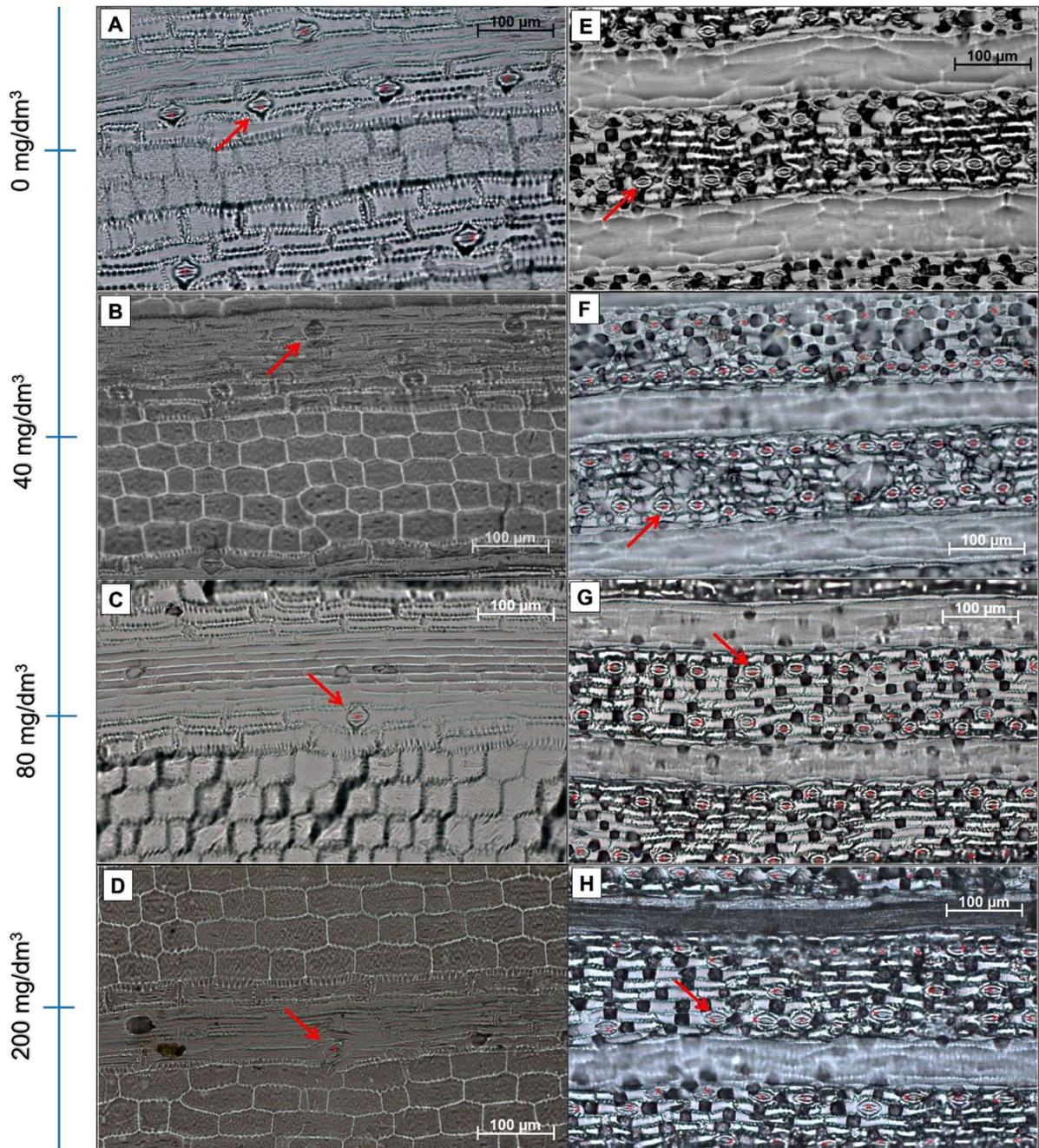
O *A. longispicus*, apesar de apresentar taxa fotossintética e acúmulo de biomassa similar ao *P. cinerascens* no tratamento controle, a adição de N ao substrato não alterou a WUE e a razão raiz: parte aérea (boxplots no interior das Figs. 3C e 4C). Por outro lado, vale destacar o aumento linear na taxa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

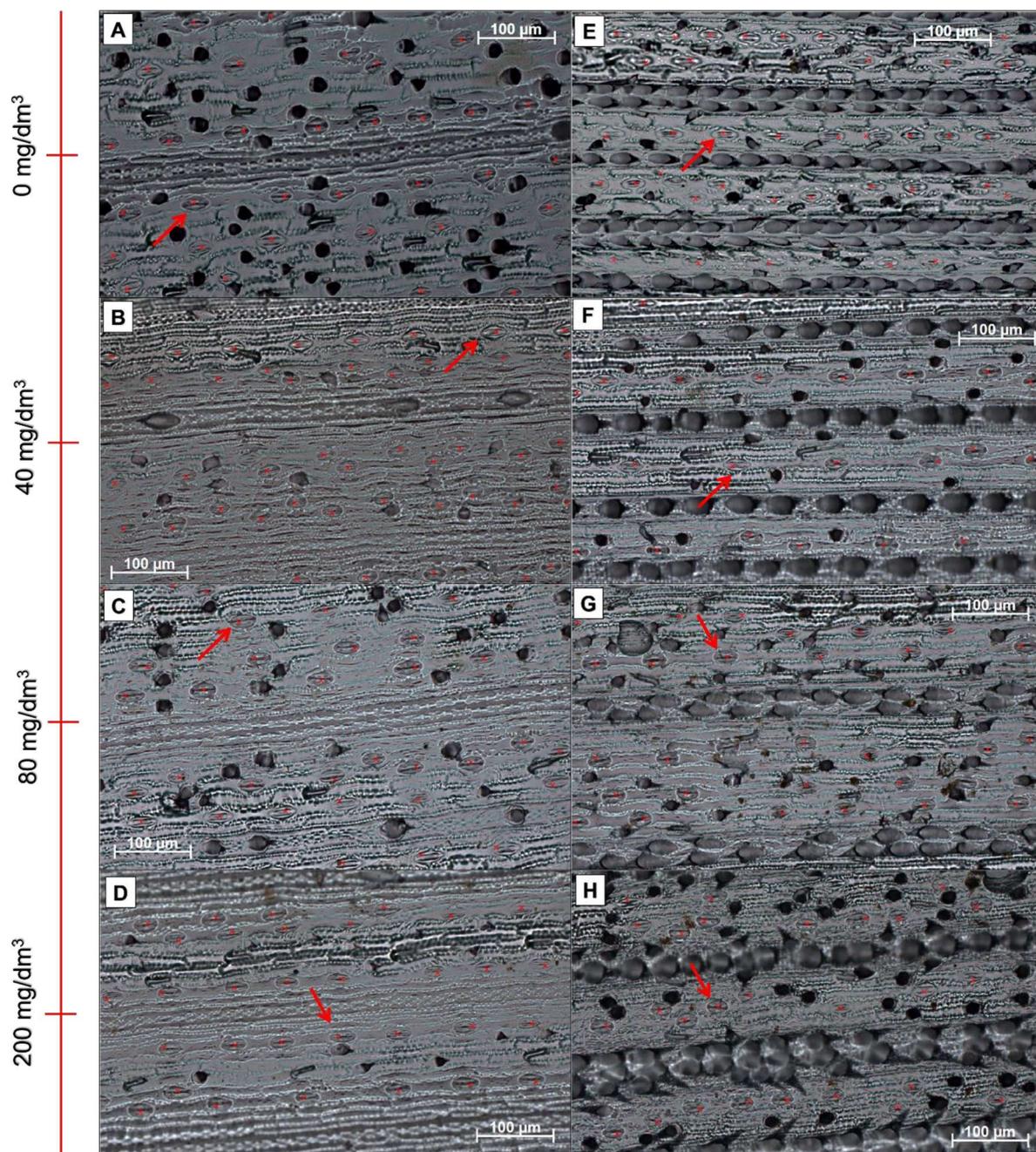
As duas espécies apresentam estômatos em formato de halteres, juntamente com suas células subsidiárias. Com a adição de N ao substrato, a densidade estomática adaxial do *Paspalum* não apresentou alteração, no entanto, para a face abaxial houve uma redução significativa de 21,93% no tratamento com 200 mg/dm³ 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/dm³ 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/dm³ 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.

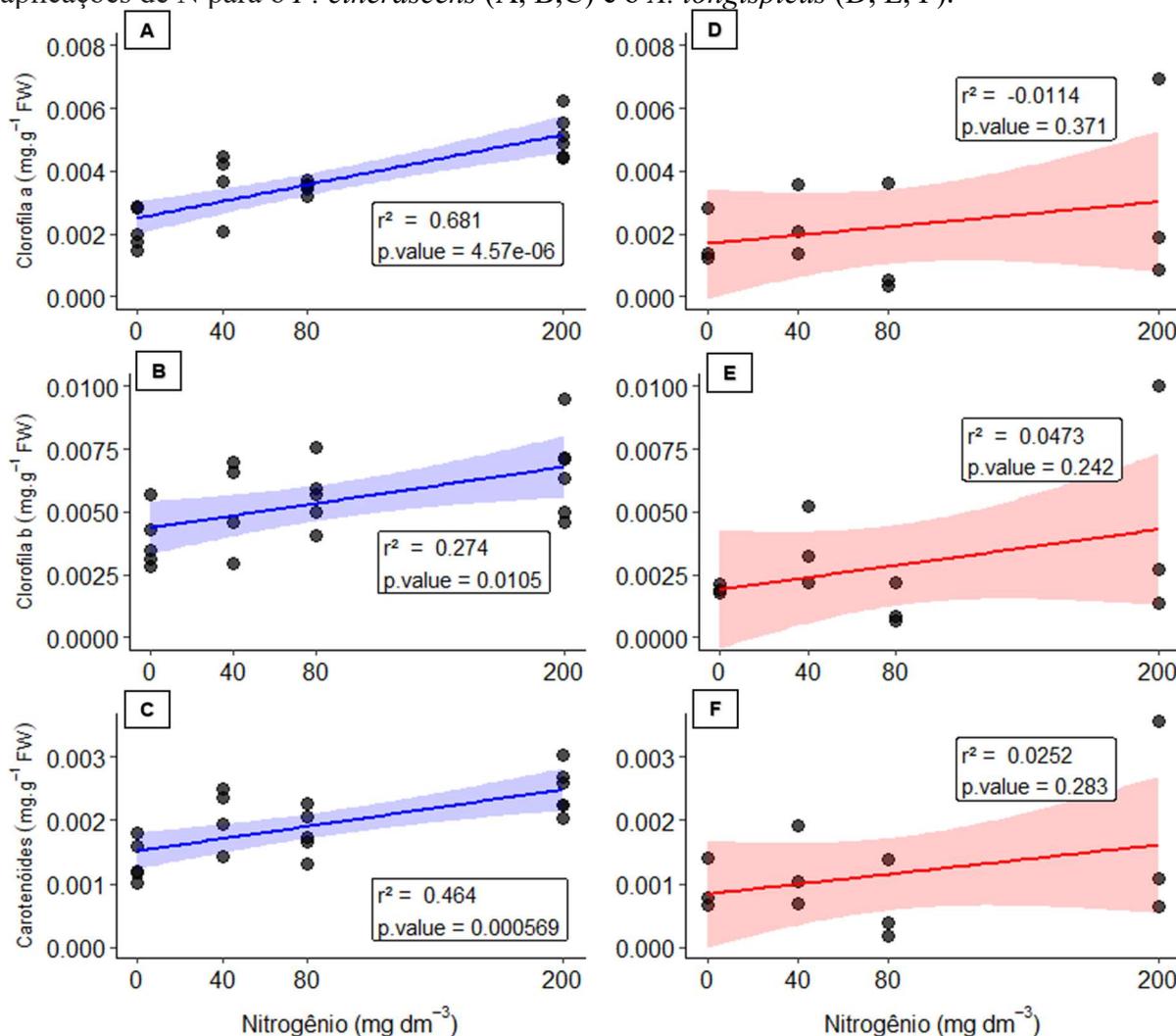


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

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 dm³ de substrato alcançou valores superiores a 2x aos obtidos em plantas mantidas em condições controle (0 mg de N por dm³ 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⁻¹FW) e carotenóides (mg.g⁻¹FW) 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⁻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⁻³ 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 ³)	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

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⁻³ 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 CO₂ (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 CO₂ absorvido pela quantidade de moléculas de H₂O 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 dm³ 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. Acesso em: 10 ago. 2019

BRODRIBB, T. J. *et al.* Evolution of stomatal responsiveness to CO₂ 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. 205-212, 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>. 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>. 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. 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.