

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CRESCIMENTO DE *Brachiaria subquadrifera* (Trin.) Hitchc. SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES NUTRICIONAIS E MONITORAMENTO
SAZONAL DE FATORES AMBIENTAIS NO HABITAT NATURAL.**

VANESSA DAVID DOMINGOS

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu,
para a obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU-SP
Junho – 2007.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CRESCIMENTO DE *Brachiaria subquadriflora* (Trin.) Hitchc. SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES NUTRICIONAIS E MONITORAMENTO
SAZONAL DE FATORES AMBIENTAIS NO HABITAT NATURAL.**

VANESSA DAVID DOMINGOS

Orientador: Prof.º Dr. Dagoberto Martins

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu,
para a obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU-SP
Junho – 2007.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

D671c Domingos, Vanessa David, 1978-
Crescimento de *Brachiaria subquadripara* (Trin.) Hitchc. sob diferentes condições nutricionais e monitoramento sazonal de fatores ambientais no habitat natural / Vanessa David Domingos. - Botucatu : [s.n.], 2007.
ix, 172 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2007
Orientador: Dagoberto Martins
Inclui bibliografia

1. Capim-braquiária. 2. Ecofisiologia vegetal. 3. Crescimento (Plantas). 4. Plantas aquáticas. 5. Planta daninha. I. Martins, Dagoberto. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

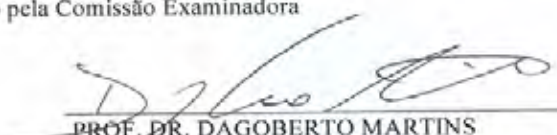
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CRESCIMENTO DE *Brachiaria subquadripara* (Trin.) Hitchc. SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES NUTRICIONAIS E MONITORAMENTO
SAZONAL DE FATORES AMBIENTAIS NO HABITAT NATURAL"

ALUNA: VANESSA DAVID DOMINGOS

ORIENTADOR: PROF. DR. DAGOBERTO MARTINS

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. DAGOBERTO MARTINS



PROF. DR. ROBINSON ANTONIO PITELLI



PROF. DR. EDUARDO ANDREA-LEMUS ERASMO



DR. MARIO SERGIO TOMAZELA



DR. SIDNEI ROBERTO DE MARCHI

Data da Realização: 22 de junho de 2007.

Meu Deus e meu Rei, eu anunciarei a tua grandeza e sempre serei grato a ti.

Todos os dias te darei graças e sempre te louvarei.....

Todas as criaturas te louvarão, e darão graças os que são fiéis a ti.

Todos falarão da glória do teu Reino e contarão a respeito do teu poder, para que todos os povos conheçam os teus atos poderosos e a grandeza e a glória do teu Reino.

O teu Reino é eterno e tu és Rei para sempre.

O senhor Deus sempre cumpre o que promete; Ele é fiel em tudo o que faz, Ele ajuda os que estão em dificuldade e levanta os que caem.

Ele esta perto de todos os que pedem a sua ajuda, dos que pedem com sinceridade....

Eu sempre louvarei o Senhor

*Que todos os seres vivos louvem o Santo Deus para sempre. **Salmos 145***

De onde vem, então, a sabedoria?

Em que lugar está a inteligência?

Nenhum ser vivo pode vê-la, nem mesmo as aves que voam no céu.....

Só Deus conhece o caminho, só Ele sabe onde está a sabedoria....

Quando Deus regulou a força dos ventos e marcou o tamanho do mar;

Quando decidiu onde a chuva devia cair e por onde a tempestade devia passar; foi então que Ele viu a sabedoria e a examinou, e aprovou.

E Ele disse aos seres humanos:

“Para ser sábio, é preciso temer ao Senhor; para ter compreensão, é necessário afastar-se do mal.”

Os seres humanos não conhecem o valor da sabedoria e não a encontram neste mundo.

Jó 28

DEDICATÓRIA

Aos meus pais *Otacílio Domingos* e *Áurea David Domingos* pelo amor incondicional, carinho e incentivo para a conclusão desta fase na minha vida profissional. Agradeço a Deus pela minha família que mesmo a distância estiveram sempre presentes.

Aos meus irmãos *Alexandre* e *Marlon* pela amizade, apoio e companheirismo que sempre nos manteve unidos independente da distância.

Aos meus irmãos em Cristo: Meire, Lucimara (Lucy), Thiago, Ivan, Patrícia, Vanessa, Pastores João Paulo e Sérgio pela amizade, companheirismo e carinho que foram essenciais não apenas para esta conquista, mas para meu crescimento pessoal.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por se tornar a essência da minha vida em função do seu amor incondicional, força e provisão para se cumprir tudo o que Ele planejou para mim. Aprendi que em tudo o que realizamos em nossa vida devemos fazer como atitudes de louvor a Ele e assim descobrimos que podemos vencer os obstáculos mais difíceis, uma vez que, Ele está nos capacitando para honrá-Lo com nossa vida. Todas as coisas foram criadas por Ele, para Ele e Nele encontram seus propósitos, ou seja, Ele é a essência de todas as coisas.

À Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Prof.º Dr. Dagoberto Martins pela confiança, disposição para ensinar fundamentos essenciais para a especialização de um pesquisador, além de sua orientação integral, compreensão e estímulo para a realização deste trabalho, bem como sua distinta amizade.

Ao Prof.º Dr. Dirceu Maximino Fernandes pela orientação em conhecimentos específicos de áreas afins, amizade e apoio dedicados.

Ao Prof.º Dr. Eduardo Andréa Lemus Erasmo, pela amizade incondicional revelada em seu caráter como pessoa, apoio e incentivo na vida profissional desde a orientação na iniciação científica com seus ensinamentos na pesquisa, os quais contribuíram para a realização da atual conquista.

À Equipe de trabalho do NUPAM (Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia) sendo destacada a participação de todos que contribuíram ativamente na realização do presente estudo: José Iran, Neumércio, Leonildo, Cristina, Prof.º Dr. Sidiney e Andréia.

Aos professores Dr^a. Sheila Zambello, Dr. Roberto A. Rodella e Dr^a Carmem pela disposição em contribuir com ensinamentos em suas respectivas áreas de trabalho que foram muito importantes para a realização do presente trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo e apoio financeiro.

Aos amigos, Mariléia, Ana Paula e Dácio, pela consideração, amizade e carinho.

Aos funcionários dos laboratórios de Matologia e Solo/Planta do Departamento de Produção Vegetal pela disposição e conhecimentos técnicos prestados.

Aos funcionários do Departamento de Agricultura e todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
1. RESUMO.....	01
2. SUMMARY.....	03
3. INTRODUÇÃO.....	05
4. REVISAO DE LITERATURA.....	08
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
5.1 Levantamento da população de plantas e caracterização física e química da água do reservatório de Barra Bonita/SP.....	18
5.1.1 Localização e descrição da área de estudo.....	19
5.1.2 Coleta e análise de água, sedimento, solo e planta.....	20
5.2 Determinação dos níveis de nutrientes favoráveis ao crescimento de <i>B. subquadripa</i> em estudos preliminares.....	25
5.3 Estudo do crescimento e absorção de nutrientes sob o efeito de diferentes níveis	29

de N, P e K.....	
5.3.1 Variáveis biométricas.....	33
5.3.2 Índices Fisiológicos.....	33
5.4 Absorção de nutrientes.....	36
5.5 Análises estatísticas.....	36
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
6.1 Levantamento das populações de <i>B. subquadripa</i> e características físicas e químicas da água, solo das margens e sedimentos referente ao reservatório de Barra Bonita-SP.	37
6.1.1 Características gerais das populações de plantas.....	37
6.1.2 Características químicas do solo das margens e do sedimento.....	43
6.1.3 Características físico-químicas da água.....	47
6.2 Estudos preliminares: Determinação dos níveis de nutrientes favoráveis ao crescimento da espécie.....	58
6.2.1 Monitoramento de alguns fatores químicos e físicos da solução nutritiva.....	58
6.2.2 Variáveis biométricas do estudo preliminar.....	60
6.3 Estudo do crescimento e absorção de nutrientes sob o efeito de diferentes níveis de N, P e K.....	65
6.3.1 Monitoramento de alguns fatores químicos e físicos da solução nutritiva.....	65
6.3.2 Variáveis biométricas do estudo definitivo.....	71
6.3.2.1 Área foliar.....	71
6.3.2.2 Alocação de Biomassa.....	77
6.3.2.3 Comprimento das raízes.....	99
6.3.2.4 Número de perfilhos emersos.....	102
6.3.2.5 Número de perfilhos submersos.....	104
6.3.2.6 Comprimento de perfilhos emersos.....	106
6.3.2.7 Comprimento de perfilhos submersos.....	109
6.3.2.8 Número de folhas emersas.....	111
6.3.2.10 Número de folhas submersas.....	113

6.3.3	Análise de Crescimento.....	115
6.3.3.1	Área foliar específica.....	115
6.3.3.2	Razão de Massa foliar.....	118
6.3.3.3	Razão de área foliar.....	121
6.3.3.4	Taxa de assimilação líquida.....	124
6.3.3.5	Taxa de crescimento relativo.....	128
6.3.3.6	Taxa de crescimento absoluto.....	131
6.3.4	Teor de nutrientes na planta.....	135
6.3.4.1	Teor de nitrogênio.....	135
6.3.4.2	Teor de fósforo.....	140
6.3.4.3	Teor de potássio.....	144
6.3.5	Acúmulo de nutrientes.....	147
6.3.5.1	Acúmulo estimado em 1.000 plantas.....	147
6.3.5.2	Acúmulo estimado em relação à área de infestação.....	151
6.3.6	Acúmulo de nutrientes em relação à área média de infestação referente ao ambiente de ocorrência.....	154
7.	CONCLUSÕES.....	160
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	163

1. RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar o crescimento e caracterizar o ambiente de ocorrência de *Brachiaria subquadripara*, sendo constituído de três etapas: (i) avaliar a população e os fatores abióticos presentes no reservatório de Barra Bonita em duas épocas (seca e águas); (ii) seleção da solução nutritiva (solução base) favorável ao crescimento a partir de diferentes diluições (80, 60, 40, 20 e 0%) da solução nutritiva completa de Sarruge em casa-de-vegetação e (iii) avaliar o crescimento e absorção de nutrientes sob o efeito de diferentes concentrações (0, 25, 50, 75 e 100%) de N, P e K na solução base em casa-de-vegetação. As coletas foram realizadas nos dias 06/07/2004 e 14/01/2005 em pontos previamente selecionados e georreferenciados, os quais constituíram-se de 13 pontos no reservatório Barra Bonita (7 pontos no braço do rio Piracicaba e 6 pontos no braço do rio Tietê). Foram realizadas coletas de solo, sedimento, água e plantas. A distribuição em relação à área de infestação das populações de *B. subquadripara* foi considerada heterogenia entre os pontos amostrados no reservatório de Barra Bonita, principalmente no verão referente à 2ª época. A diluição de 20% da solução nutritiva propiciou melhores condições ao desenvolvimento da planta e foi considerada representativa para ser utilizada como solução

base destinada à aplicação dos diferentes níveis de N, P e K. A variação sazonal influenciou na distribuição das populações, a qual ocorreu de forma heterogênea na estação chuvosa em relação à densidade populacional. O Rio Tietê foi considerado um ambiente mais eutrófico do que o Rio Piracicaba tanto em relação ao solo quanto em relação à coluna d'água. O crescimento de *B. subquadripara* apresentou melhor ajuste aos modelos exponencial e linear, sendo obtidos coeficientes de determinação acima de 90% e probabilidade de 0,001 a 0,05. A ausência de nitrogênio afetou consideravelmente a área foliar, no entanto, a adição de 25% de N na solução nutritiva foi suficiente para condicionar incrementos de 177% aos 14 dias após o transplântio das mudas. A exportação de fotoassimilados pela parte emersa da planta de *B. subquadripara* foi considerada pequena nas primeiras duas semanas de cultivo, em função dos maiores valores de Razão de Massa Foliar (RMF). A translocação de fotoassimilados aumentou e os valores de RMF diminuíram à medida que as plantas se desenvolveram. A exemplo deste fato, as plantas submetidas ao nível 100% de N aos 35 DAT apresentaram aumento na RMF, o que refletiu em uma estratégia da planta em acumular biomassa nas folhas e reduzir a translocação neste período. As plantas de *B. subquadripara* expressaram aumentos crescentes na Taxa de Crescimento Relativo (TCR) em função do tempo com o acréscimo de nitrogênio na solução até determinada concentração (nível 50%). A TCR em função da ausência e 100% de fósforo propiciaram decréscimos durante o desenvolvimento da planta. Condições de maiores concentrações de N, P e K não afetaram o acúmulo de biomassa de *B. subquadripara*, afetando assim a TCR. Os índices fisiológicos estudados foram influenciados pelos diferentes níveis de nutrientes e houve alta correlação entre os mesmos.

Palavras-chave: planta aquática, planta daninha, braquiária, nutriente, absorção.

2. SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the growth and characterize the occurrence environment of *Brachiaria subquadripara* being consisted of three stages: (i) evaluate the population and the abiotic factors present in the reservoir of Barra Bonita in two seasons (drought and waters); (ii) selection of nutritious solution (base solution) favorable to growth from different dilutions (80, 60, 40, 20 and 0%) of Sarruge's complete nutritious solution, at green house and (iii) evaluate the growth and nutrients absorption under the effect of different N, P and K concentrations (0, 25, 50, 75 and 100%) in the base solution, at green house. Collections were carried out in July 6, 2004 and January, 14, 2005, in previously selected and georeferred places, which consisted of 13 places at Barra Bonita reservoir (7 places in the branch of the Piracicaba River and 6 places in the branch of the Tietê River). Soil, sediment, water and plants collections were carried out in each place. The distribution in relation to infestation area of *B. subquadripara* populations was considered heterogeneous among the places chosen in the Barra Bonita reservoir, mainly in the summer of the 2nd season. The 20% dilution of nutritious solution allowed better conditions for plant development and was considered significant to be used as base solution destined to the application of different levels

of N, P and K. Seasonal variation influenced the populations distribution, which heterogeneously occurred in the rainy season, in relation to population density. The Tietê River was considered the most eutrophic environment than the Piracicaba river, in relation to both soil and water column. *B. subquadripa* growth presented better adjustment to exponential and linear models, with determination coefficients above 90% and probability of 0,001 to 0,05. The absence of nitrogen affected the foliaceous area significantly. However, the addition of 25% N to the nutritious solution was enough to provide increases of 177% 14 days after scions transplantation (DAT). Photoassimilates export by the aerial part of *B. subquadripa* plant was considered small in the first two weeks of cultivation, due to higher Foliaceous Mass Ratio (RMF) values. The photoassimilates translocation increased and the RMF values decrease while the plants grew up. As example, plants submitted to 100% N level at 35 DAT, RMF increases, revealing the plant strategy to accumulate biomass in leaves and reduce translocation in this period. *B. subquadripa* plants expressed growing increases in relative growth rate (TCR) in function of time with the addition of nitrogen to the solution until a determined concentration (50% level). TCR in function of absence and 100% phosphorus caused decreases during plant development. Conditions of higher N, P and K concentrations, may cause negative effects concerning biomass accumulation of *B. subquadripa*, thus affecting TCR. The physiological indexes studied were influenced by the different levels of nutrients and there was high correlation between them.

Keywords: aquatic plant, weed, brachiaria, nutrient, absorption.

3. INTRODUÇÃO

O estado trófico de rios e lagos tem sido alterado principalmente pelo influxo de nutrientes provenientes de atividades agrícolas, do despejo de esgotos urbanos e industriais. A eutrofização pode ocorrer de forma natural em ecossistemas aquáticos com o desenvolvimento da hidrosserie. A eutrofização acelerada apresenta como consequência um aumento na produtividade biológica, a qual pode ser expressiva quanto os seus efeitos na vegetação aquática.

Nestas condições ocorre o crescimento excessivo de plantas aquáticas, o que resulta em inúmeros problemas relacionados à qualidade da água, bem como aos seus usos múltiplos. Dentre os diversos problemas causados pela presença em excesso destas plantas, podem ser citados a obstrução de turbinas e grades de proteção de hidrelétricas, funcionamento prejudicado de eclusas, redução da biodiversidade, entrave à navegação, promoção de habitats de vetores de várias doenças, além de prejudicar atividades de lazer (Pitelli, 1998; Guimarães et al., 2003; Carvalho et al., 2005).

Assim, a maior disponibilidade de nutrientes observada em ambientes aquáticos perturbados, tem favorecido a produção de uma grande quantidade de biomassa pelas plantas

aquáticas emersas e submersas. Em consequência, isto pode reduzir a quantidade de oxigênio, pela respiração, aumento do teor de matéria orgânica através de sua decomposição e pelo sombreamento da coluna d'água (Larcher, 2000), além de ocorrer desequilíbrios ecológicos, os quais podem ser observados no curto prazo, como a morte de peixes pela redução de oxigênio na água.

A presença ou desenvolvimento de um organismo ou a colonização de uma comunidade depende de um complexo de condições. Segundo a lei do mínimo de Liebig, sob condições de estado constante o material essencial que está disponível em quantidades mais próximas da necessidade mínima tende a ser o fator ecológico limitante (Odum, 1988).

A colonização de plantas aquáticas em corpos hídricos poluídos tem sido intensa devido ao predomínio de condições favoráveis ao crescimento, em função do incremento na concentração de nutrientes, além dos fatores vitais ao desenvolvimento da população bem como a ausência de predadores e parasitas

Atualmente os impactos causados por atividades antrópicas tem se tornado freqüentes, a exemplo do Pantanal matogrossense, no qual o Rio de Taquari foi submetido a um processo de assoreamento, devido ao aumento da quantidade de sedimento proveniente da intensa erosão especialmente de áreas agrícolas, principalmente nos solos arenosos. Este fato, afeta mais de 11.000 km² de planícies, o que acarreta em alterações drásticas na hidrologia e, por consequência, também altera a fauna e a flora (Pott & Pott, 2004).

Assim, as comunidades de plantas nestes ambientes estão sujeitas as alterações e pode ocorrer a introdução de espécies de gramíneas exóticas em outros nichos, a exemplo do que aconteceu com *Panicum repens* L. em solos arenosos e *Brachiaria subquadripara* (Trin.) Hitchc. em solos argilosos no Pantanal matogrossense (Pott & Pott, 2004), o que afetou o equilíbrio do ecossistema de forma séria e com poucas possibilidades de reversão.

B. subquadripara é uma planta aquática perene que facilmente coloniza ambientes úmidos, principalmente nas margens de corpos hídricos e, áreas de arroz irrigado. Considerada como uma planta infestante, pois apresenta alta eficiência na utilização de recursos e crescimento rápido, bem como resistência a inundações temporárias, o que confere sua agressividade na colonização do ambiente (Kissmann, 1997). Ressalta-se que esta espécie não possui inimigos naturais no Brasil.

No entanto, existem poucos estudos referentes à absorção de nutrientes e crescimento de *B. subquadripara*, a qual tem sido considerada como uma espécie problema em função da sua ocorrência freqüente em vários reservatórios da região sudeste do Brasil. Cavenaghi (2003) avaliou algumas características da água e do sedimento em relação ao ambiente de ocorrência de plantas aquáticas em reservatórios da bacia do Rio Tietê, e verificou que no reservatório de Barra Bonita havia grandes infestações de *B. subquadripara*, a qual foi considerada como a principal espécie competidora deste ambiente com valor de importância de 16,08 %.

Assim, o presente trabalho objetivou estudar o potencial de crescimento de *B. subquadripara* em diferentes condições nutricionais via solução nutritiva em casa-de-vegetação, bem como o monitoramento sazonal de algumas características físicas e químicas da água, solo, sedimento e populações de plantas. Visando, subsidiar estratégias de controle para contribuir no manejo integrado desta espécie.

4. REVISAO DE LITERATURA

B. subquadripara, originária da África, é caracterizada como uma planta perene, estolonífera com hábito prostrado ou subereta e altura que pode variar de 60 a 120 cm, possui reprodução vegetativa a partir de estolões e produção de poucas sementes por planta, as quais possuem baixa eficiência de reprodução. A distribuição da espécie no Brasil, atualmente, concentra-se nos estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso e ao longo da costa leste. (Lorenzi, 2000; Kissmann, 1997; Roche et al., 1990).

Segundo Wunderlin & Hansen (2006) e Kissman (1997), as sinonímias encontradas na literatura para *B. subquadripara* correspondente ao período de 1771 a 1987 são: *Panicum distachyon* L., *Panicum radicans* Llanos, (L.)Pers., *Panicum miliiforme* J.Presl *Digitaria distachya*, *Brachiaria miliiformis* (J.Presl)Chase, *Brachiaria distachya* (L.)Stapf., *Panicum multifolium* Peter, *Panicum arrectum* Hack. ex. T. Durand & Schinz, *Brachiaria latifolia* Stapf, *Brachiaria radicans* Napper, *Brachiaria arrecta* (Hack. ex T. Durand & Schinz) Stent (site), *Panicum subquadriparum* Trin., *Urochloa subquadripara* (Trin.)R.D.Webster, *Urochloa arrecta* (Hack. ex Th. Dur. & Schinz) e *Brachiaria subquadripara* (Trin.)Hitche.

O gênero *Brachiaria* inicialmente era considerado como uma subdivisão do gênero *Panicum*, por Trinius em 1934 e foi classificada neste gênero por Grisebach em 1853 (Renvoize et al., 1996). Os nomes populares mais conhecidos no Brasil e Estados Unidos são braquiária-d'água e tanner grass, respectivamente (Pott & Affonso, 2000).

Kissmann, (1997) relatou que esta espécie é encontrada frequentemente em ambientes úmidos inclusive nas margens de corpos hídricos e quando disseminada em locais próximos a áreas de arroz irrigado. Também, pode ser considerada como uma planta infestante, pois apresenta alta eficiência na utilização de recursos do meio e crescimento rápido, bem como resistência a inundações temporárias, o que confere grande agressividade na colonização deste tipo de ambiente. Esta espécie, também é tóxica para bovinos que, dependendo da quantidade ingerida, pode apresentar sintomas como urina escuro-avermelhada e diarreia freqüente, fraqueza, desequilíbrio e mucosas pálidas, porém pode haver recuperação quando os animais param de alimentar-se desta planta (Pott & Affonso, 2000). As intoxicações ocorrem devido à alta concentração de nitrato nas plantas de *B. subquadripara* sendo maior do que nas outras espécies de braquiárias, ocorrendo depois da ingestão durante muitos dias.

B. subquadripara apresenta semelhanças em relação às plantas de *Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf, uma vez que, ambas são gramíneas forrageiras e também podem ser consideradas invasoras agressivas. Assim, quando estas espécies ocorrem associadas na mesma área frequentemente podem ser confundidas, porém *B. subquadripara* possui racemos menores e em menor número, os quais não apresentam ramificações (Carbonari, et al., 2003).

O conhecimento da biologia e ecologia das espécies é essencial para elaborar estratégias eficientes de controle, uma vez que, plantas daninhas aquáticas têm potencial para colonizar diferentes tipos de ambientes aquáticos.

De maneira geral, o ambiente aquático caracteriza-se por apresentar alta capacidade em solubilizar compostos orgânicos e inorgânicos, com distribuição desigual em toda a extensão do corpo hídrico formando gradientes, envolvendo além de nutrientes, outros fatores como luz, temperatura e gases (Esteves, 1998). Estes gradientes determinam a distribuição espacial dos organismos condicionados aos seus respectivos habitats. As plantas aquáticas conferem autonomia a este ambiente, pois representa a base da organização do ecossistema, via produção de biomassa que, na decomposição ocorre a liberação maciça de nutrientes inorgânicos e matéria orgânica dissolvida.

As taxas de liberação de nutrientes são influenciadas pela dinâmica populacional das plantas aquáticas, pela sua mortalidade durante e após o período de crescimento, pelas condições ambientais que ocorrem na morte e decomposição. Além destes fatores, o tipo de vegetação também influencia na decomposição e na liberação de nutrientes e compostos orgânicos, sendo mais acelerado nas plantas aquáticas submersas e de folhas flutuantes quando comparadas às emersas (Wetzel, 1993).

As variáveis referentes à biomassa, morfologia de planta e composição de espécies estão inter-relacionadas dentro de comunidades de plantas aquáticas e o crescimento de plantas aquáticas forma grupos de espécies que estão fortemente relacionados à função ecológica destas plantas (Vis et al., 2003).

Em ecossistemas lacustres, o nitrogênio está presente sob a forma molecular dissolvida (N_2), em inúmeros compostos orgânicos desde aminoácidos e aminas a proteínas e em compostos húmicos de baixo teor em N ou na forma iônica como amônio, nitrito e nitrato. Ao contrário destas numerosas formas de nitrogênio as quais são importantes em lagos, o fósforo apresenta apenas a forma inorgânica (PO_4^{3-}) como mais significativa neste ambiente (Wetzel, 1993). Reynolds & Davies (2001) também relataram que nestes ambientes as formas de fósforo biodisponível podem estar em solução, como íons de ortofosfato ou prontamente solúveis. A biodisponibilidade está diretamente relacionada com o que pode ser mensurável, a exemplo do fósforo solúvel reativo. Quanto às outras formas, inclusive fosfato dos metais alcalino-terrosos, alumínio e ferro raramente estão disponíveis.

A maioria dos sistemas aquáticos são naturalmente deficientes em fósforo biologicamente disponível aos produtores primários. As plantas aquáticas evoluíram mecanismos de absorção de fósforo muito eficientes e as respostas ao incremento do suprimento de fósforo pode ser estequiometricamente previsível na produção da biomassa (Reynolds & Davies, 2001).

Clarke & Wharton (2001) realizaram um estudo em dezessete rios para avaliar a relação entre características do sedimento e da coluna d'água como fontes de nutrientes para algumas plantas aquáticas. Os valores obtidos da concentração de fósforo total nos sedimentos dos rios variaram entre 312 e 1.776 $g\ g^{-1}$. Os pesquisadores concluíram que as características do sedimento são altamente variáveis a cada 100 m de distância rio acima e, ainda, a variação foi maior entre os rios estudados. Crossley, (2002) relatou que fósforo, ferro e manganês estão

reciprocamente mais disponíveis em condições redutoras, as quais são predominantes em sedimentos.

O estado oxidado ou reduzido do sedimento constitui um fator essencial na regulação do fluxo de nutrientes e o balanço de oxigênio na zona radicular de plantas aquáticas é o principal fator de estabilização contra a liberação de nutrientes e toxicidade de sulfito (Giusti & Libelli, 2005).

Dentre alguns parâmetros gerais de qualidade de água que influenciam o crescimento de plantas aquáticas estão inclusos: pH, alcalinidade, dureza da água (temporário ou permanente), condutividade, gases dissolvidos (oxigênio e gás carbônico) e potencial redox.

A amplitude de variação de pH em corpos hídricos naturais é considerada alta, no entanto, as plantas aquáticas apresentam tolerância a esta variação, sendo que a faixa de pH favorável corresponde a 5 e 7,5, embora possam tolerar uma amplitude maior. Em condições de pH baixo no sedimento podem ocorrer níveis fitotóxicos de alguns metais (manganês e alumínio), sendo ainda reduzida a disponibilidade de CO₂ dissolvido e outros nutrientes (Cálcio e Magnésio). Enquanto o pH alto pode reduzir a disponibilidade de fosfato, sulfato, ferro, manganês (Crossley, 2002; Jackson, et al. 1993).

A alcalinidade da água constitui-se em uma medida da capacidade de neutralização de ácidos. Os contribuintes principais para a alcalinidade em águas são: bicarbonatos (HCO₃⁻), carbonatos (CO₃²⁻), hidróxidos (OH⁻), íons boratos (H₄BO₄⁻), fosfato (H₂PO₄²⁻) e silicatos (H₃SiO₄⁻) [Faust & Aly, 1981 citado por Crossley, 2002]. As diversas combinações destes compostos com íons de hidrogênio (provenientes dos ácidos), que remove os íons H⁺ da solução, resulta na estabilização do pH.

A dureza da água refere-se à quantidade de íons de cálcio e magnésio na água, mas em alguns casos os íons ferro e manganês também influenciam nesta propriedade. As plantas aquáticas de acordo com a espécie variam em respostas quanto à dureza da água, como *Egeria densa* Planch. (64 - 144 mg L⁻¹ CaCO₃) e *Cabomba aquática* Aublet (16 - 64 mg L⁻¹ CaCO₃). O aumento na dureza da água contribui para a salinidade devido ao aumento da concentração de íons de cálcio e magnésio (Crossley, 2002).

A condutividade elétrica constitui-se em um importante fator físico da água para o monitoramento da salinidade. A tolerância entre espécies de plantas aquáticas a uma extensa faixa de níveis de salinidade é uma característica reconhecida na literatura. Em experimentos

com solução nutritiva, níveis de salinidade podem variar muito, pois a evaporação da água aumenta a salinidade e a condutividade elétrica permite obter uma indicação geral da absorção de nutrientes (Crossley, 2002).

Khedr & El-Demerdash (1997), estudaram a relação entre plantas aquáticas e seus ambientes em canais de irrigação e drenagem, classificando a vegetação em sete grupos de ocorrência. Verificaram que os grupos de plantas submersas apresentavam menor diversidade de espécies e menor frequência, sendo mais afetadas pelo sombreamento das árvores na margem do canal do que emersas e flutuantes. As variáveis ambientais que apresentaram correlação significativa com espécies dominantes foram: sombreamento, largura do canal, condutividade elétrica e concentração do íon potássio na água.

Alguns parâmetros físicos como a temperatura, salinidade e profundidade (coluna d'água) determinam o nível de oxigênio na água. Nos corpos hídricos naturais, as águas de superfície, pelo contato com a atmosfera, geralmente apresentam altos níveis de oxidação, enquanto em maiores profundidades o oxigênio pode estar ausente. A ocorrência de níveis intermediários no lago gera condições de equilíbrio nas reações de oxidação e redução. Como outros organismos, as plantas aquáticas podem criar microambientes que difere no potencial redox em relação ao macroambiente (Wium-Anderson & Anderson, 1972).

A taxa de matéria orgânica no sedimento pode afetar a habilidade das plantas aquáticas em oxigenar as raízes, assim, mais que 5 % (peso seco) da matéria orgânica no sedimento pode inibir o crescimento de algumas espécies submersas como *Elodea canadensis* Rich. *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc., as quais são mais sensíveis neste aspecto do que as plantas emergentes (Barko & Smart, 1983; Barko, et al., 1986; Barko & Smart, 1986). Embora a elucidação para este fato ainda não foi comprovada, os pesquisadores sugeriram que a inibição do crescimento pode ser o resultado do acúmulo de compostos fitotóxicos durante a mineralização anaeróbica do carbono orgânico.

O incremento de nutrientes no ambiente aquático tem sido crescente, principalmente nitrogênio e fósforo, o que altera o estado trófico adequado para manter o equilíbrio do ecossistema lacustre. Estes elementos são indispensáveis para o desenvolvimento de culturas, no entanto, estão diretamente relacionados à eutrofização de corpos hídricos.(Smith, et al. 1999).

A eutrofização em ecossistemas lacustres, geralmente refere-se ao enriquecimento de águas por nutrientes principalmente nitrogênio, fósforo, potássio, carbono e ferro, os quais são essenciais ao desenvolvimento do fitoplâncton e das plantas aquáticas superiores (Tundisi, 1992). A eutrofização natural ocorre espontaneamente pela ação do carregamento de nutrientes pelas chuvas e águas superficiais em qualquer sistema aquático continental ou de águas costeiras (estuários). Entretanto, com o aumento das diversas atividades humanas pode ocorrer a eutrofização artificial (involuntária) ou deliberada, a exemplo da piscicultura intensiva que visa aumentar a produção de algas, que alimentam os microcrustáceos, os quais alimentarão as larvas da maioria dos peixes (Esteves & Barbosa, 1992).

Outro aspecto, relacionado aos impactos ambientais causados pela eutrofização acelerada, refere-se ao esgotamento da capacidade de adsorção de fósforo no sedimento, uma vez que, o fosfato não adsorvido permanece prontamente disponível aos produtores primários (Esteves & Barbosa, 1992).

Os rios e lagos podem ser classificados de acordo com seu estado trófico e existem duas classes que representam extremos. Os lagos eutróficos, os quais apresentam altas concentrações de nutrientes ou suprimento mais regular de nutrientes às plantas bem como suportam maiores intensidades de produção primária (incluindo algas) e mantém a população de peixes. Já, os lagos oligotróficos são caracterizados pela deficiência de um ou mais nutrientes essenciais, com águas transparentes, pouco produtivo e apresenta populações escassas de espécies de peixes como o salmão (Esteves & Barbosa, 1992).

Chambers et al. (1994) avaliaram o impacto ambiental causado pelo efluente de esgotos a diferentes distâncias do mesmo em alguns rios, associado à variação de densidades de plantas aquáticas e na dinâmica de nutrientes. Verificaram que independente das distâncias do efluente estudadas, a presença de altas densidades (valor estimado 200 g m^{-2}) de plantas aquáticas ocasionou um aumento na concentração de fósforo total (30 g L^{-1} para 118 g L^{-1}) e nitrogênio total dissolvido (323 g L^{-1} para 553 g L^{-1}), enquanto densidades moderadas (valor estimado 135 g m^{-2}) causaram menor impacto (30 g L^{-1} para 60 g L^{-1}) e (323 g L^{-1} para 277 g L^{-1}) para os respectivos nutrientes.

Ainda, em relação ao estado trófico de corpos hídricos correlacionado ao crescimento de plantas aquáticas, Thomaz et al. (1999) realizaram um estudo no reservatório de Itaipu e

observaram um elevado número de espécies. Associaram este fato à entrada de nutrientes pelos rios tributários, uma vez que, o reservatório era considerado meso – eutrófico.

Os pesquisadores também consideraram que a flutuação moderada dos níveis da água, que oscilou em um metro por ano no reservatório, pode ter favorecido a colonização de espécies diferentes, pois em outros reservatórios foi observado que flutuações acima de três metros propiciam o aumento da riqueza de espécies de plantas aquáticas.

A constituição deste cenário no meio ambiente pode ser atribuída ao desenvolvimento da agricultura e a intensificação no uso de fertilizantes inorgânicos como uma das principais causas deste distúrbio no ecossistema aquático (Reynolds & Davies, 2001).

O crescimento excessivo de plantas aquáticas ocasionado pela alta concentração de nutrientes na água proveniente de áreas agrícolas pode ser considerado como uma via alternativa de entrada de nutrientes no ecossistema. Em consequência, ocorre a decomposição da biomassa produzida pelo estande de plantas presente em altas densidades, que modifica a ciclagem de nutrientes. Assim, durante o processo de decomposição, ocorre o aumento da população de bactérias heterotróficas que se alimentam de matéria orgânica das algas e de outros microrganismos mortos, consumindo, assim, o oxigênio dissolvido na água. (Reynolds & Davies, 2001).

Também existem as áreas extensas de ecótonos, o que corresponde à alternância de fases aquáticas e terrestres também pode ser considerada como um bioma importante no Pantanal. Nestas savanas, predominam espécies de gramíneas como *Axonopus purpusii* (Mez) Chase e *Paspalum* spp. Na época de inundação, em poucos dias aparecem espécies como *Echinodorus grandiflorus* Mich., *Eleocharis acutangula* (Roxb.) Steud., e *Nymphoides grayana* (Griseb.) originadas de sementes e rizomas dormentes (Potti & Potti, 2004).

A vegetação aquática destes ecótonos é muito dinâmica e adapta-se às alterações dependentes dos ciclos hidrológicos plurianuais e sazonais, bem como fatores antrópicos internos (pecuária) e externos (manejo inadequado do solo) (Pott & Pott, 2000).

Aparentemente, o rebanho bovino existente no pantanal com 4 milhões de cabeças, encontrou um nicho quase vazio nos gramados naturais, os quais representam uma cobertura de 2/3 do Pantanal, devido à escassez de herbívoros nativos de grande porte. Apenas alguns herbívoros nativos, como a capivara (*Hydrochaeris hydrochaeris*) e o cervo do pântano (*Blastocerus dichotomus*) se alimentam principalmente de plantas aquáticas, enquanto um

numeroso rebanho de bovinos pastejam estes gramados naturais. Esta interferência de uma espécie animal exótica em um nicho ecológico causa um desequilíbrio em todo o ecossistema (Pott, 1988; Pott & Pott, 2000).

Billy et al. (2000) estudaram a bacia fluvial de um lago de cratera pequeno cujos tributários corriam entre pastagens e lagoas e, ressaltaram que a qualidade da água foi afetada nos locais próximos às áreas de procriação de bovinos e que gerou um aumento na quantidade de sedimento suspenso bem como na concentração de nutrientes na água.

Assim, as comunidades de plantas nestes ambientes são alteradas e ocorre a introdução de espécies de gramíneas exóticas em outros nichos, a exemplo de *P. repens* em solos arenosos e *B. subquadripara* em solos argilosos (Pott & Pott, 2004), o que afeta o equilíbrio do ecossistema.

Neste contexto insere-se a importância de *B. subquadripara* como uma espécie invasora que apresenta elevado potencial de colonização em ambientes aquáticos.

Em estudos de levantamento prévio na bacia do Rio Tietê, observou-se maior ocorrência de *B. subquadripara* em relação a outras espécies. Entre os reservatórios do rio Tietê, verifica-se que esta espécie segue uma ordem decrescente de ocorrência a partir de Barra Bonita até Três Irmãos, este fato pode estar relacionado com o grau de eutrofização de cada reservatório, sendo sua frequência relativa (14,9; 19,0; 13,4; 9,8; 3,3 e 0,019 %) sempre em alta densidade populacional em Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava e Três irmãos, respectivamente (Cavenaghi, 2003).

Portanto, a análise de crescimento constitui-se em uma ferramenta importante em estudos que visam avaliar o potencial de desenvolvimento de plantas daninhas, como *B. subquadripara*. O objetivo desta análise destina-se à avaliação da produção líquida das plantas derivada do processo fotossintético, sendo o resultado do desempenho do sistema assimilatório em determinadas condições de ambiente, durante certo período de tempo. Assim, esta análise apresenta como fundamento, a medida sequencial do acúmulo de matéria orgânica e a sua determinação é realizada considerando a massa seca da planta (Bhom, 1979)

Espécies de plantas que apresentam alto investimento em folhas, ou seja, elevada razão de área foliar (RAF), possuem maior potencial de cobertura do solo. A RAF correlaciona-se positivamente com a taxa de crescimento relativa (TCR) e também com a taxa de assimilação líquida (TAL) (Seibert & Pearce, 1993). Por sua vez, Horak & Loughin (2000) também

observaram associação entre TCR e TAL. A RAF é uma variável morfológica que expressa quanto da massa total é alocada para as folhas da planta. A TCR refere-se ao acúmulo de massa em um determinado intervalo de tempo, por unidade de massa pré-existente. Já, a TAL representa o acúmulo de massa, também em um intervalo de tempo, por unidade de área foliar pré-existente, assumindo, portanto, caráter fisiológico (Radosevich et al., 1997).

A caracterização do comportamento de algumas plantas aquáticas emersas como *M. aquaticum* e *Ludwigia peploides* (Kunth) Raven foi realizada por Rejmankova (1992), que apresentaram crescimento rápido, alto acúmulo de nitrogênio, maior alocação de biomassa e nitrogênio nas raízes com rápida decomposição. Estas plantas desenvolveram-se bem quando submetidas a uma ampla faixa de concentração de N em água (20 – 140 mg de $\text{NO}_3 \text{L}^{-1}$).

Os critérios de interpretação de resultados referentes à absorção de nutrientes e o crescimento da planta, baseiam-se no nível crítico que corresponde à concentração na folha abaixo do qual a taxa de crescimento reduz significativamente (Dechen et. al., 1995). Reddy et al. (1984), determinaram características de crescimento sazonal de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Pistia stratiotes* L. e *Hydrocotyle umbellata* L. selecionadas e cultivadas em condições adequadas de nutrientes na Flórida central. Observaram que, em condições não limitantes, *E. crassipes* produz 2 Kg de biomassa seca por m^2 com densidade máxima, ainda que sejam coletados 0,5 kg biomassa seca não afetará a razão de crescimento.

Rani & Bhambie (1983), estudaram o crescimento de *Salvinia molesta* Mitchell sob o efeito de duas condições de luz (sombra e radiação solar completa) e temperatura. Verificaram que o aumento no peso fresco tem uma relação linear positiva com intensidade de luz (3500-4500 $\text{k cal m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e temperatura atmosférica (25 – 30° C), com taxa de crescimento relativo variando de 0.01 a 0.07 $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$.

Silva, et al. (2002) avaliaram o efeito de diferentes concentrações de nitrogênio e fósforo no crescimento de *E. crassipes*, *P. stratiotes* e *S. molesta*. O crescimento de *S. molesta* não apresentou limitações com as concentrações altas e baixas usadas (N total- 0,33 e 0,19 mg L^{-1} e P total- 77 – 15,1 g L^{-1}), enquanto *E. crassipes*, *P. stratiotes* produziu baixa taxa de crescimento relativo (0.016 g dia^{-1} para ambas espécies) cultivadas em baixas concentrações de N e P.

Cary et al. (1983), avaliaram o crescimento de *S. molesta* influenciado pela temperatura e nutrientes na água. Encontraram valores de taxa de crescimento relativo maiores em 22 ° C e

2 mg PO₄ L⁻¹, sendo que em 19° C apresentou acúmulo de fósforo pela alta capacidade de estocar nutriente (1,3 % matéria seca). O controle desta espécie pode estar relacionado à manutenção de níveis mínimos de N e P na água.

Camargo et al. (2002), realizaram comparação da produção primária de três plantas aquáticas submersas (*Utricularia foliosa* L., *Egeria densa* Planch. e *Cabomba furcata* Schultes) em diferentes características físicas e químicas da água de rios de São Paulo. A produção primária bruta de *U. foliosa* foi mais alta no verão (24,75 mg O₂ g⁻¹ peso seco h⁻¹) e *E. densa* no outono (6,55 mg O₂ g⁻¹ peso seco h⁻¹). A espécie mais produtiva foi *U. foliosa* que apresentou correlação positiva com a temperatura além do recurso adicional de nutrientes pelo hábito carnívoro. A baixa intensidade de luz e concentração de nutrientes limitou a produção primária de *E. densa*, não interferindo nos usos múltiplos da água.

Na literatura não foram encontrados estudos com *B. subquadripara* referentes aos objetivos propostos no presente trabalho, o que contribui para a justificativa do mesmo.

5. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo do crescimento e caracterização do ambiente de ocorrência de *B. subquadripara* foi constituído de três etapas: (i) monitoramento da população e análise dos fatores abióticos no reservatório de Barra Bonita em duas épocas do ano (estação seca e das águas); (ii) seleção da solução nutritiva (solução base) favorável ao crescimento a partir de diferentes diluições da solução nutritiva completa de Sarruge e (iii) avaliação do crescimento e absorção de nutrientes sob o efeito de diferentes níveis de N, P e K na solução base. Os itens (ii) e (iii) foram conduzidos no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas/ UNESP, campus de Botucatu-SP.

5.1 Levantamento da população de plantas e caracterização física e química da água do reservatório de Barra Bonita/SP.

O trabalho de caracterização da qualidade da água, sedimento e levantamento de populações de *B. subquadripara* teve início com o reconhecimento da área de estudo no

reservatório Barra Bonita inserido na bacia hidrográfica do rio Tietê. Assim, no dia 25 de maio de 2004 foram percorridas as margens dos rios Tietê e Piracicaba, para a marcação de 28 pontos de coleta, utilizando um GPS 12 marca Garmin, em áreas colonizadas por estandes representativos de *B. subquadripa*. Esta fase inicial do estudo permitiu à equipe de trabalho um conhecimento prévio do reservatório antes da realização das atividades de campo, sendo que contribuiu na elaboração do planejamento das amostragens, bem como na seleção dos pontos de coleta mais representativos.

5.1.1 Localização e descrição da área de estudo

O reservatório Barra Bonita construído a partir do represamento dos rios Tietê e Piracicaba, bem como de vários afluentes está localizado à jusante da cidade de São Paulo (aproximadamente 300 Km) a barragem esta localizada entre os municípios de Barra Bonita e Igaracú do Tietê (Tundisi, 1999). Esta região caracteriza-se por ser de transição entre os climas tropicais e subtropicais e as estações anuais são bem definidas segundo a classificação de Köppen, sendo do tipo CWA (clima mesotérmico), com inverno seco e verão quente (Monteiro, 1973).

A bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita, é constituída por parte das bacias hidrográficas Piracicaba/Capivari/Jundiaí (BHPCJ) e Tietê/Sorocaba (BHTS), ambas no Estado de São Paulo, correspondendo a uma área total de aproximadamente 19.000 km² e está inserida entre as coordenadas geográficas 21° 54' 20'' e 23° 57' 26'' Sul e 46° 39' 27'' e 48° 34' 52'' WG. (Prado & Novo, 2005). Entretanto, também deve-se considerar como fator importante na caracterização da área, o fato desta região ser uma das mais populosas e desenvolvidas do interior de São Paulo, a qual possui aproximadamente cinco milhões de habitantes, o que representa 16% da população do Estado (Prado, 2004).

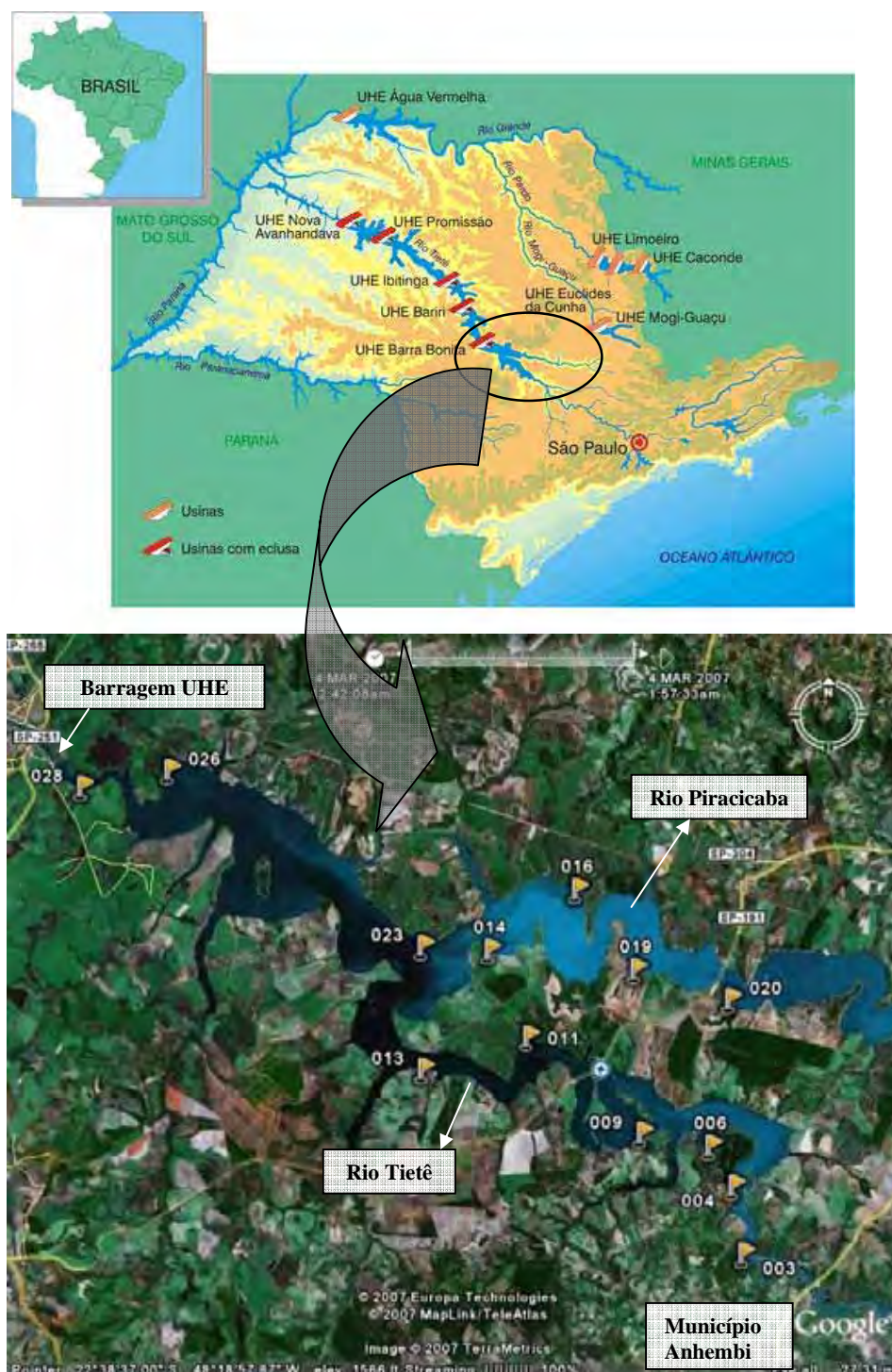
A seleção deste reservatório para a realização do presente estudo teve como principais fundamentos a alta frequência relativa de *B. subquadripa* observada em estudos realizados por Cavenaghi, (2003). Além disso, o reservatório de Barra Bonita é considerado o mais antigo dentre os outros reservatórios que constituem o complexo de hidrelétricas da bacia

hidrográfica do Rio Tietê. A localização do reservatório também influenciou na escolha da região, pois caracteriza-se por ser uma área de intensas transformações nos padrões de uso e ocupação da terra o que favorece a ocorrência de problemas de poluição, além da água ser destinada a usos múltiplos.

5.1.2 Coleta e análise de água, sedimento, solo e planta

O monitoramento dos fatores ambientais referente ao habitat da espécie foi realizado em duas épocas, estação seca e das águas, as quais foram correspondentes às campanhas de coleta de julho a setembro 2004 e janeiro a março 2005.

As coletas iniciaram nos dias 6 de julho de 2004 e 14 de janeiro de 2005 nos pontos previamente selecionados e georreferenciados, os quais constituíram-se de 13 pontos dentro do reservatório Barra Bonita (7 pontos no braço do rio Piracicaba e 6 pontos no braço do rio Tietê) que estão representados na Figura 1 e Tabela 1. Assim, nesta área realizou-se coletas referentes a um total de 65 amostras por época, sendo 26 amostras de solo (solo da margem do rio e sedimento), 26 amostras de água (2 repetições para cada ponto para obter o valor médio do local amostrado) e 13 amostras do estande de plantas que, em conjunto, subsidiaram o estudo de caracterização do ambiente de ocorrência da espécie em estudo.



Fonte: Google Earth

Figura 1. Mapa dos reservatórios do estado de São Paulo (Fonte: Cavenaghi, 2003) e foto de satélite do reservatório de Barra Bonita e identificação pontos de coleta georreferenciados na imagem de satélite.

Tabela 1. Localização geográfica e descrição dos pontos de coleta referente aos períodos de monitoramento do ambiente de ocorrência da espécie.

Descrição	Pontos	Latitude	Longitude	Zona (UTM)	Norte (UTM)	Leste (UTM)
Rio Tietê - ponte (Anhembi)	003	S 22 ° 46 ' 3,51"	W 48 ° 9 ' 40,72"	22 K	791.493	7.479.406
Rio Tietê	004	S 22 ° 44 ' 1,73"	W 48 ° 9 ' 59,35"	22 K	791.033	7.483.164
Rio Tietê	006	S 22 ° 42 ' 50,49"	W 48 ° 10 ' 44,53"	22 K	789.785	7.485.381
Rio Tietê	009	S 22 ° 42 ' 27,69"	W 48 ° 12 ' 58,57"	22 K	785.971	7.486.155
Rio Tietê	011	S 22 ° 39 ' 33,88"	W 48 ° 16 ' 39,86"	22 K	779.751	7.491.621
Rio Tietê - cidade Rio bonito	013	S 22 ° 40 ' 32,32"	W 48 ° 20 ' 5,35"	22 K	773.850	7.489.929
Rio Piracicaba	014	S 22 ° 36 ' 57,58"	W 48 ° 17 ' 55,22"	22 K	777.686	7.496.470
Rio Piracicaba	019	S 22 ° 37 ' 32,73"	W 48 ° 13 ' 9,64"	22 K	785.825	7.495.238
Rio Piracicaba	020	S 22 ° 38 ' 26,43"	W 48 ° 10 ' 5,30 "	22 K	791.060	7.493.486
Rio Piracicaba	016	S 22 ° 35 ' 7,46"	W 48 ° 15 ' 3,77"	22 K	782.647	7.499.769
Rio Piracicaba	023	S 22 ° 36 ' 50,58"	W 48 ° 20 ' 6,51"	22 K	773.939	7.496.753
Rio Piracicaba	026	S 22 ° 31 ' 30,96"	W 48 ° 28 ' 23,52"	22 K	759.907	7.506.835
Rio Tietê - em frente à barragem	028	S 22 ° 32 ' 1,17 "	W 48 ° 31 ' 13,73"	22 K	755.026	7.505.987

A amostragem de solo foi realizada com a coleta de material na margem do rio com o auxílio de um enxadão e, após a limpeza da camada superficial, retirou-se 20 cm de perfil do solo desde a parte seca até a úmida (Figura 2.). A coleta do solo submerso (sedimento) foi realizada próximo à margem por meio de uma draga manual tipo Petersen (Figura 2.). As amostras de solo da margem do rio e do sedimento foram colocadas em sacos plásticos transparentes e, depois em casa-de-vegetação foram espalhados em bandejas plásticas para a secagem. As amostras foram processadas e analisadas no laboratório de Solo/Planta do Departamento de Produção Vegetal da FCA-UNESP, para a determinação das seguintes características: pH, capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB), saturação de bases (V%) e textura, além dos teores de matéria orgânica (MO%), Ca, Mg, P, K, N total, S, H + Al.



Figura 2. Esquerda: Ilustração do perfil do solo presente na margem **Centro:** Coleta do solo desde a parte seca até a úmida com auxílio de um enxadão. **Direita:** Coleta do solo submerso (sedimento) próximo à margem.

As coletas das amostras de água foram realizadas com o auxílio de frascos de plástico fosco a uma profundidade aproximada de 10 cm abaixo da superfície, para evitar a contaminação da amostra por restos de materiais vegetais presentes na superfície. Estes frascos foram acondicionados em caixas de isopor contendo gelo para conservação da amostra durante o transporte até o laboratório. A determinação dos parâmetros físicos como pH, temperatura, turbidez e condutividade elétrica foram realizadas quando as amostras estavam em temperatura ambiente, com o auxílio de um pHmetro e termômetro marca Corning, condutivimetro marca Hanna instruments modelo HI 99300 e turbidímetro marca Hanna instruments modelo HI 93703. As análises químicas avaliaram os: teores de nitrato, nitrito,

amônia, sulfato, fosfato e teores dissolvidos de Na, Ca, Si, K, Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Cd, Mg, Sn, Pb, Al, B, Ba, Co, Cr, Hg, Li, Mo e Se.

As análises químicas da água referente aos minerais e metais foram determinadas em um espectrofotômetro de Plasma marca Thermo Jarrel Ash modelo Trace Scan e quanto aos demais compostos utilizaram-se métodos internacionalmente padronizados, os quais estão descritos no manual “The Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater” (Greenberg et. al., 1992).

A amostragem das plantas foi realizada de acordo com o método do quadrado de madeira de 0,25 m², o qual foi lançado de forma aleatória sobre um estande homogêneo de plantas. Assim, a biomassa emersa (parte emersa da planta na superfície da água) presente no interior desta área pré-definida foi coletada com o auxílio de um facão e uma tesoura de poda e em seguida foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes para o transporte até o processamento das amostras em laboratório, cujo procedimento está ilustrado na Figura 3. Este método referente ao lançamento do quadrado de madeira foi recomendado por Westlake Moraes (1998) e citado por Ferreira (2000). A área infestada da população de *B. subquadripara* foi estimada por avaliação visual do comprimento e largura da área ocupada pela espécie no ponto amostrado.



Figura 3. Esquerda: Corte da biomassa emersa contida dentro do quadrado de madeira lançado sobre um estande de *B. subquadripara*. **Centro:** ilustração da área do quadrado após a retirada da biomassa. **Direita:** Acondicionamento das plantas em sacos plásticos transparentes.

As plantas foram secadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingir o peso constante (72 horas). Após a realização deste processo obteve-se a massa seca coletada

na área de 0,25 m² para o cálculo da densidade de plantas da população em cada ponto, a qual foi expressa em g m⁻². A partir desta amostra foi retirada uma subamostra, em quantidade suficiente para a análise química da determinação dos macronutrientes. Estas análises foram realizadas no laboratório de relação Solo/Planta do Departamento de Produção Vegetal, da FCA-Unesp/Botucatu e, o material vegetal foi digerido em soluções de ácido sulfúrico para a determinação do teor de nitrogênio e nitro-perclórico para a os demais macronutrientes, seguindo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). A determinação das concentrações de N foi obtida por titulometria após a destilação, enquanto para os outros macronutrientes utilizou-se espectrometria de plasma. O acúmulo de macronutrientes na parte emersa das plantas coletadas no reservatório Barra Bonita, expresso em g m⁻², foi relacionado com a densidade populacional.

5.2 Determinação dos níveis de nutrientes favoráveis ao crescimento de *B. subquadripata* em estudos preliminares.

O experimento foi instalado em casa-de-vegetação no Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), vinculado ao Departamento de Produção Vegetal da FCA/UNESP, Campus de Botucatu-SP. O objetivo deste experimento preliminar foi selecionar uma solução com composição favorável ao crescimento desta planta e, assim, subsidiar o experimento principal referente ao estudo do efeito de diferentes níveis de N, P e K sobre o crescimento das plantas de *B. subquadripata*. Os tratamentos avaliados constituíram-se de seis diluições (80, 60, 40, 20 e 0 %) da solução nutritiva de Sarruge. (Tabela 2).

O delineamento experimental utilizado neste estudo foi o inteiramente casualizado com quatro repetições. As mudas foram coletadas no ambiente de ocorrência e multiplicadas em casa-de-vegetação em vasos plásticos (13,8 x 28,3 x 11,8 cm) contendo solo (Latosolo Vermelho-Amarelo) submerso em uma lamina d'água de aproximadamente 5 cm. As plantas foram mantidas nestas condições durante 48 dias e receberam duas aplicações (intervalos de 15 dias) de uréia em solução a 4,5% de nitrogênio, sendo utilizados 30 ml desta solução por vaso. Durante este período realizaram-se duas podas para evitar o perfilhamento e assim obter melhor padronização das mudas (colmo de três entrenós, duas a três folhas abertas e ápice,

sem raízes) para o transplântio. Assim, este padrão utilizado no preparo das plantas possibilitou a obtenção de mudas mais uniformes.

Tabela 2. Soluções estoque e volume pipetados (mL L⁻¹) para o preparo de 1 litro da solução completa de Sarruge. Botucatu, 2006.

Soluções estoque	[M]	Solução completa
KH ₂ PO ₄	1,0	1
KNO ₃	1,0	5
Ca(NO ₃)	1,0	5
MgSO ₄	1,0	2
Solução de micronutrientes ¹	-	1
Fe-EDTA ²	-	1

¹ Dissolveu-se em 1 litro de água destilada: H₃BO₃ (2,86 g), MnCl₂.4H₂O (1,81 g), ZnCl₂ (0,10 g), CuCl₂ (0,04 g), H₂MoO₄.H₂O (0,02 g).

² Dissolveu-se: (a) 26,2 g de EDTA dissódico (etileno diamino tetra acetato de sódico) em 200 mL de água destilada; (b) 24,0 g de FeSO₄.7H₂O em 300 mL de água destilada quente (± 70 °C); (c) Misturaram-se a e b e colocou-se sob aeração constante com um compressor de ar por um período de 12 horas, em seguida utilizou-se um filtro de papel e completou-se o volume a 1 litro sendo armazenada em frasco de cor âmbar em câmara fria.

As mudas foram transplantadas para vasos plásticos contendo 1 litro de solução dos respectivos tratamentos (Tabela 3). Estas mudas foram fixadas em espuma fenólica para germinação marca Green-up, a qual estava encaixada em uma placa de isopor perfurada com um orifício destinado ao posicionamento da mangueira de distribuição de ar (Equipo), sendo vedado com um algodão para evitar a entrada de luz e conseqüente proliferação de algas (Figura 4). O sistema de aeração constituiu-se de mangueiras plásticas individuais para os vasos e fixadas por agulhas em mangueiras de silicone, as quais foram conectadas a um registro presente na tubulação de distribuição de ar proveniente do compressor (Figura 5).

Tabela 3. Soluções estoque e volume pipetados (mL L^{-1}) para o preparo de 1 litro de solução dos tratamentos. Botucatu, 2006.

Soluções estoque	[M]	Diluições da solução completa				
		(%)				
		0	20	40	60	80
KH_2PO_4	1,0	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2
KNO_3	1,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0
$\text{Ca}(\text{NO}_3)$	1,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0
MgSO_4	1,0	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4
Micronutrientes ¹	-	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2
Fe-EDTA ²	-	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2



Figura 4. **Esquerda:** multiplicação das mudas; **Centro:** Muda fixada em espuma fenólica; **Direita:** imagem interna do vaso com solução nutritiva e sistema de aeração. Botucatu, 2006.



Figura 5. Detalhes do sistema de aeração constituído por mangueiras plásticas individuais para os vasos e fixas por agulhas em mangueiras de silicone, conectadas em um registro na tubulação de distribuição de ar proveniente do compressor. Botucatu, 2006.

O monitoramento das condições físicas e químicas da solução nutritiva foi realizado diariamente, com o auxílio de um pHmetro marca Corning, condutivimetro marca Hanna instruments modelo HI 99300. A renovação da solução foi efetuada aos 14 dias após o transplântio e a amplitude de variação do pH entre 5,5 e 6,5 foi considerada como padrão de referência.

A avaliação final foi realizada aos 23 dias após o transplântio com as seguintes medidas biométricas: biomassa seca de folha (parte emersa e submersa), colmo (parte emersa e submersa) e raízes; comprimento de raízes e colmo (parte emersa e submersa); número de folhas (parte emersa e submersa) e perfilhos (parte emersa e submersa); área foliar; avaliação do estado nutricional das plantas via análise foliar. Os termos “emersos” e “submersos” são referentes à posição de determinada parte ou órgão da planta em relação à solução. Portanto, emersa corresponde à biomassa que não estava em contato com a solução e, submersa, refere-se à biomassa desenvolvida imersa na solução.

A determinação de biomassa seca, expressa em gramas por planta, foi realizada com a secagem das plantas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingir o peso constante (72 horas). As medidas referentes à parte emersa e submersa corresponderam ao crescimento da planta acima do limite da espuma e, abaixo, imersa na solução nutritiva.

O comprimento do colmo foi medido com fita métrica, expresso em centímetros, o qual foi considerado como a distância desde o colo da planta até o ápice vegetativo mais alto do

eixo principal e definido como a somatória dos colmos por planta. Já, o comprimento das raízes foi determinado com a medida desde o colo da planta até a extremidade das raízes. O limite do colo da planta foi considerado como o limite do solo (espuma).

O número de folhas e perfilhos também foram definidos pela somatória observada na planta. Para a área foliar, utilizou-se o aparelho digital Automatic Área Meter – Modelo AAM-7, da Hayashi Denkoh Co. Ltda – Tokyo Japan, o qual se encontra instalado no Departamento de Botânica (FCA/UNESP).

Quanto à análise foliar, utilizou-se uma amostra da biomassa seca das folhas, segundo metodologia para a determinação dos nutrientes descrita anteriormente. Para avaliar o estado nutricional da planta utilizou-se como referência as faixas de teores de nutrientes adequados para *Brachiaria brizantha* Stapf. Os teores considerados como padrões de referência (Werner et al., 1984) foram os seguintes para macronutrientes em g kg^{-1} : N – 13 a 20; P- 0,8 a 3,0; K – 12 a 30; Ca – 3,0 a 6,0; Mg 1,5 a 4,0 e S – 0,8 a 2,5; e, para micronutrientes em mg kg^{-1} : Zn – 20 a 50; Fe - 50 a 250; Cu – 4,0 a 12 e Mn – 40 a 250.

A determinação dos nutrientes na folha foi realizada no Laboratório de Relação Solo/Planta do Departamento de Produção Vegetal, da FCA/UNESP. Para a determinação dos teores de P, K, Ca, Mg e S, o material vegetal foi digerido em uma mistura de ácido nitro-perclórico e para o N utilizou-se a digestão sulfúrica (Malavolta et al., 1997). O nitrogênio foi determinado por titulometria, enquanto os outros macronutrientes e micronutrientes foram determinados por espectrometria de plasma.

Os resultados preliminares foram submetidos à análise de regressão sendo utilizado o programa Sigma Stat versão 2.0., o que permitiu realizar o teste de normalidade dos resultados.

5.3 Estudo do crescimento e absorção de nutrientes sob o efeito de diferentes níveis de N, P e K.

O estudo final foi conduzido nas mesmas instalações, procedimentos de montagem e biometria do estudo preliminar. Os tratamentos constituíram-se de 5 níveis de N, P e K (0, 25, 50 e 75% e 100% da concentração na solução base) durante 5 épocas (intervalos de 7 dias) com 6 repetições. A solução base definida para este experimento foi a diluição de 20%, de

acordo com os resultados preliminares obtidos que estão descritos no capítulo resultados e discussão. A composição das soluções nutritivas foi alterada pelos níveis de concentração pré-definidos referentes a cada macronutriente (Tabelas 4, 5 e 6).

As concentrações iniciais pipetadas para cada tratamento avaliado estão apresentadas na Tabela 7. A determinação de fósforo e potássio na solução nutritiva foi realizada por meio de diluição padrão para leitura em espectrometria de plasma. Enquanto para o nitrogênio total, realizou-se a leitura direta no aparelho Total nitrogen measuring unit modelo TNM-1 acoplado ao Total organic carbon analyzer (TOC-V) marca Shimadzu, o qual se encontra instalado no Departamento de Química no Campus de Rubião Júnior IB/UNESP.

As avaliações iniciaram após um período de adaptação (7 dias) das plantas à solução dos respectivos tratamentos, sendo considerado como transplantio, o ponto inicial para a realização das avaliações após este período de adaptação. Durante o período experimental foram realizadas as leituras de condutividade elétrica, pH e temperatura das soluções de crescimento a cada dois dias.

A renovação da solução foi efetuada em intervalos de 7 dias e, a cada dois dias, foi monitorado em todas as unidades experimentais o pH, temperatura e condutividade elétrica. A faixa de pH considerada como padrão de referência foi definida entre 5,5 e 6,5, no entanto, alguns tratamentos devido as suas características intrínsecas propiciaram condições instáveis de pH, a exemplo das omissões de nitrogênio e fósforo. Nestas condições ocorreu redução acentuada bem como aumento do pH e a cada dois dias adicionou-se gotas de soluções de NaOH a 0,5% ou HCl a 0,1% de acordo com a faixa pré-definida.

O monitoramento das condições físicas e químicas das soluções nutritivas foi realizado em intervalos de dois dias.

Tabela 4. Soluções estoque e volume pipetados (mL L⁻¹) para o preparo de 1 litro de solução dos níveis de nitrogênio. Botucatu, 2006.

Reagentes	[M]	N			
		0%	25%	50%	75%
KH ₂ PO ₄	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8
KNO ₃	1,0	-	-	-	-
Ca(NO ₃) ₂	1,0	-	-	-	-
MgSO ₄	1,0	1,6	1,6	1,6	1,6
KCl	1,0	4	4	4	4
CaCl ₂	1,0	4	4	4	4
NH ₄ H ₂ PO ₄	1,0	-	-	-	-
NH ₄ NO ₃	1,0	0	1,5	3	4,5
(NH ₄) ₂ SO ₄	1,0	-	-	-	-
Mg(NO ₃) ₂	1,0	-	-	-	-
Micro	-	0,8	0,8	0,8	0,8
Fe-EDTA	-	0,8	0,8	0,8	0,8

Tabela 5. Soluções estoque e volume pipetados (mL L⁻¹) para o preparo de 1 litro de solução dos níveis de fósforo. Botucatu, 2006.

Reagentes	[M]	P			
		0%	25%	50%	75%
KH ₂ PO ₄	1,0	0	0,2	0,4	0,6
KNO ₃	1,0	4	4	4	4
Ca(NO ₃) ₂	1,0	4	4	4	4
MgSO ₄	1,0	1,6	1,6	1,6	1,6
KCl	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2
CaCl ₂	1,0	-	-	-	-
NH ₄ H ₂ PO ₄	1,0	-	-	-	-
NH ₄ NO ₃	1,0	-	-	-	-
(NH ₄) ₂ SO ₄	1,0	-	-	-	-
Mg(NO ₃) ₂	1,0	-	-	-	-
Micro	-	0,8	0,8	0,8	0,8
Fe-EDTA	-	0,8	0,8	0,8	0,8

Tabela 6. Soluções estoque e volume pipetados (mL L⁻¹) para o preparo de 1 litro de solução dos níveis de potássio. Botucatu, 2006.

Reagentes	[M]	K			
		0%	25%	50%	75%
KH ₂ PO ₄	1,0	-	0,8	0,8	0,8
KNO ₃	1,0	-	-	-	-
Ca(NO ₃) ₂	1,0	4	4	4	4
MgSO ₄	1,0	1,6	1,6	1,6	1,6
KCl	1,0	0	0,4	1,6	2,8
CaCl ₂	1,0	-	-	-	-
NH ₄ H ₂ PO ₄	1,0	0,8	-	-	-
NH ₄ NO ₃	1,0	1,6	2	2	2
(NH ₄) ₂ SO ₄	1,0	-	-	-	-
Mg(NO ₃) ₂	1,0	-	-	-	-
Micro	-	0,8	0,8	0,8	0,8
Fe-EDTA	-	0,8	0,8	0,8	0,8

Tabela 7. Concentração inicial de macronutrientes (mg L⁻¹) presentes na solução dos níveis de nitrogênio, fósforo e potássio. Botucatu, 2006.

Épocas (DAT)	N (%)				
	0	25	50	75	100
N	0	42,0	84,0	126,0	168,0
P	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8
K	187,2	187,2	187,2	187,2	187,2
Ca	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0
Mg	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
S	51,2	51,2	51,2	51,2	51,2
	P (%)				
N	168,0	168,0	168,0	168,0	168,0
P	0	6,2	12,4	18,6	24,8
K	187,2	187,2	187,2	187,2	187,2
Ca	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0
Mg	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
S	51,2	51,2	51,2	51,2	51,2
	K (%)				
N	168,0	168,0	168,0	168,0	168,0
P	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8
K	0	46,8	93,6	140,4	187,2
Ca	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0
Mg	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
S	51,2	51,2	51,2	51,2	51,2

5.3.1 Variáveis biométricas

As avaliações foram constituídas de biomassa seca de folha (parte emersa e submersa) e colmo (parte emersa e submersa) e raízes; comprimento das raízes e colmo (parte emersa e submersa); número de folhas (parte emersa e submersa) e perfilhos (parte emersa e submersa); área foliar.

A distribuição da biomassa seca foi calculada em porcentagem dos dados ajustados de biomassa de cada órgão em relação à biomassa total (somatória dos dados ajustados dos órgãos da planta) durante os períodos de avaliações, o que permitiu inferir a translocação orgânica (Benincasa, 1988).

5.3.2 Índices Fisiológicos

O crescimento da espécie foi avaliado a partir de variáveis como área foliar, biomassa seca de folhas, colmo e raízes, os quais foram ajustados em relação ao tempo (idade da planta) para proceder-se à estimativa dos índices fisiológicos: área foliar específica (AFE), razão de massa foliar (RMF), razão de área foliar (RAF), taxa assimilatória líquida (TAL), taxa de crescimento relativo (TCR) e Taxa de crescimento absoluto (TCA) pelo programa ANACRES (Portes & Castro Junior, 1991). Para o ajuste dos dados de biomassa seca e área foliar em função do tempo, entre as alternativas propostas pelo programa Anacres, optou-se pelo ajuste exponencial quadrático, uma vez que, representa o comportamento dos resultados observados em *B. subquadripara*.

A área foliar específica é a relação entre a área foliar e a massa seca de folhas, considerada como o componente morfológico e anatômico da RAF, porque relaciona a superfície (A), em decímetros quadrados, com a massa seca da própria folha (MSF) expressa em gramas, conforme equação 1 (Benincasa, 1988).

A razão de massa foliar representa a proporção de material fotossintetizante, em relação à massa de matéria seca total da planta, ou seja, constitui-se na fração de biomassa não exportada pelas folhas, conforme equação 2 (Brandes et al., 1973). A razão de massa foliar, de

acordo com Radford (1967), indica a partição de assimilados entre o crescimento da folha e de outras partes da planta. Reflete, ainda, a relação do aparelho fotossintetizante, em função da fitomassa total (Rodrigues, 1990).

A razão de área foliar ($\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$) consiste em uma dimensão relativa do aparelho assimilador, sendo utilizada como parâmetro apropriado para as avaliações do efeito do manejo de comunidades vegetais (Rodrigues, 1990) e expressa a área foliar útil para a fotossíntese, de acordo com a equação 3 (Benincasa, 1998). Os valores foram obtidos a partir da relação entre os dados de área foliar (AF, que corresponde a área responsável pela interceptação de energia luminosa e CO_2) e biomassa seca total (BST), resultado da fotossíntese.

A taxa assimilatória líquida ($\text{g dm}^{-2} \text{semana}^{-1}$) expressa a taxa de fotossíntese líquida, em termos de biomassa seca produzida em gramas por decímetro quadrado de área foliar, por unidade de tempo (Benincasa, 1988). Este índice reflete a fotossíntese líquida que indica a eficiência do sistema assimilador envolvido na produção de biomassa seca. (Boaro, 1986), conforme a equação 4.

A taxa de crescimento absoluto é a variação ou o incremento de biomassa entre duas amostragens, a qual foi calculada em gramas por semana, de acordo com equação 5. Assim, este parâmetro indica essencialmente a velocidade média do crescimento ao longo do período de observação (Benincasa, 1988).

A taxa de crescimento relativo, expresso em $\text{g g}^{-1} \text{semana}^{-1}$, reflete o aumento da matéria orgânica seca, em gramas, de uma planta ou de qualquer órgão desta, num intervalo de tempo em função do tamanho inicial, ou seja, material pré-existente, equação 6 (Benincasa, 1988).

Desta forma obteve-se:

$$AFE = \frac{A}{MSF} \quad (1)$$

$$RMF = \frac{MSF}{M} \quad (2)$$

$$RAF = \frac{A}{M} \quad (3)$$

$$TAL = \frac{M_2 - M_1}{t_2 - t_1} \times \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{A_2 - A_1} \quad (4)$$

$$TCR = \frac{\ln M_2 - \ln M_1}{t_2 - t_1} \quad (5)$$

$$TCA = \frac{M_2 - M_1}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

onde:

MSF = massa seca de folhas

$M_2 - M_1$ = diferença entre massa seca total das plantas de cada unidade experimental colhidas em duas amostragens sucessivas;

$t_2 - t_1$ = número de dias decorridos entre duas amostragens;

$A_2 - A_1$ = diferença entre a área foliar total das plantas de cada unidade experimental em duas amostragens sucessivas;

A = área foliar total de cada unidade experimental;

M = massa seca total de cada unidade experimental

5.4 Absorção de nutrientes

A determinação dos teores de N, P e K nos órgãos da planta foi semelhante ao realizado no experimento anterior de acordo com metodologia proposta por Malavolta (1997).

Os teores de nutrientes presentes na biomassa dos diferentes órgãos da planta expressos em g kg^{-1} possibilitaram o cálculo do acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio expresso em gramas por metro quadrado baseada na densidade média populacional (g m^{-2}) obtida em campo e acúmulo em gramas por 1.000 plantas. A densidade de biomassa estimada no campo obtida pela média entre as populações e épocas amostradas foi equivalente a 514 g m^{-2} , porém, para efeito de cálculo utilizou-se o valor de 500 g m^{-2} . Assim, realizou-se a relação entre o teor (g kg^{-1}) encontrado nas plantas cultivadas em solução nutritiva e a biomassa média presente em 1 m^2 com o intuito de apresentar dados mais representativos em relação à espécie e ao ambiente de ocorrência. Realizou-se também, o acúmulo destes macronutrientes na biomassa emergida plantas coletadas no ambiente de ocorrência, sendo relacionado às suas respectivas densidades populacionais.

5.5 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos análise de regressão, sendo utilizado o programa Sigma Stat versão 2.0., o qual também permitiu constatar a normalidade dos resultados.

A escolha do modelo de regressão foi realizada com base no coeficiente de determinação, significância da regressão e principalmente em relação ao coeficiente b da equação (ponto inicial estimado na curva). Os resultados dos índices fisiológicos foram estimados pelo programa Anacres, o qual realiza o ajuste da área foliar e biomassa seca em relação ao tempo para o cálculo dos diferentes índices fisiológicos, de acordo com especificações de Portes & Castro Junior (1991), utilizando-se a opção equação exponencial quadrática.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Levantamento das populações de *B. subquadripara* e características físicas e químicas da água, solo das margens e sedimentos referente ao reservatório de Barra Bonita-SP.

6.1.1 Características gerais das populações de plantas

A distribuição das populações de *B. subquadripara* em relação à área de colonização foi considerada agregada entre os pontos amostrados no reservatório de Barra Bonita, principalmente no verão referente à 2ª época (águas)(Tabelas 8 e 9). Percebe-se que no inverno

(1ª época) a área da população apresentou menor amplitude de variação (50 a 1.000 m²) entre os pontos amostrados do que o observado na segunda época (2 a 20.000 m²). Observou-se, também, que entre a 2ª e 1ª época (seca) referente aos pontos 3, 4 e 9 houve redução na área colonizada pela espécie, correspondente a 25,0, 98,7 e 14,3%, respectivamente.

A extensão da área da população de uma planta depende de condições favoráveis ao crescimento desta espécie, que é originária de clima tropical. Ressalta-se que a temperatura adequada para a absorção de nutrientes constitui-se em um fator importante para o crescimento das plantas, uma vez que, também pode influenciar na eficiência biológica expressa pela conversão dos recursos absorvidos (luz e nutrientes) em biomassa.

Estas condições climáticas favoráveis ao crescimento das plantas desta espécie contribuíram para o aumento da área de infestação observada no verão (Tabela 8). Nota-se que no verão, as maiores áreas de infestação foram encontradas nos pontos 13, 6, 20, 11 e 23, no entanto, quanto à densidade (kg m^{-2}) destacaram-se os pontos 26, 28, 6, 19 e 11. A biomassa seca produzida estimada nas áreas infestadas foi verificada em maior quantidade nos pontos 13, 6, 20, 11 e 23, os quais apresentaram o equivalente a 11,0, 4,7, 4,5, 2,1 e 1,7, toneladas na área infestada, respectivamente.

No inverno (Tabela 8), as maiores áreas de infestação foram encontradas nos pontos 13, 20, 6, 9 e 16, os quais também apresentaram maiores quantidades de biomassa na área de infestação.

Tabela 8. Médias da biomassa seca emergida de plantas de *Brachiaria subquadriflora* produzida na área infestada e estimada na 1ª época (seca). Reservatório Barra Bonita/SP.

Descrição	Ponto	1ª época (seca)				2ª época (águas)			
		Área da população		Biomassa seca	Kg área ⁻¹ (infestada)	Área da população		Biomassa seca	Kg área ⁻¹ (infestada)
		C x L	m ²	Kg m ⁻²		C x L	m ²	Kg m ⁻²	
Rio Tietê - ponte (Anhembí)	3	10 x 10	100	0,468	46,78	15 x 5	75	0,400	29,98
Rio Tietê	4	15 x 10	150	0,413	62,01	2 x 1	2	0,130	0,26
Rio Tietê	6	50 x 10	500	0,390	195,06	40 x 200	8.000	0,593	4.745,28
Rio Tietê	9	10 x 35	350	0,408	142,74	20 x 15	300	0,450	135,00
Rio Tietê	11	15 x 10	150	0,448	67,26	20 x 150	3.000	0,700	2.100,79
Rio Tietê - cidade Rio bonito	13	100 x 10	1.000	0,420	419,50	100 x 200	20.000	0,551	11.016,47
Rio Piracicaba	14	5 x 10	50	0,703	35,13	5 x 10	50	0,532	26,60
Rio Piracicaba	16	20 x 10	200	0,754	150,75	30 x 10	300	0,351	105,36
Rio Piracicaba	19	5 x 10	50	0,411	20,56	30 x 50	1.500	0,768	1.151,29
Rio Piracicaba	20	60 x 10	600	0,447	268,25	200 x 40	8.000	0,567	4.533,65
Rio Piracicaba	23	10 x 10	100	0,506	50,62	20 x 150	3.000	0,577	1.732,32
Rio Piracicaba	26	10 x 10	100	0,362	36,17	5 x 30	150	0,901	135,13
Rio Tietê - em frente à barragem	28	15 x 10	150	0,428	64,19	20 x 60	1.200	0,735	882,14

C = comprimento

L = largura

A análise do estado nutricional quanto aos principais macronutrientes na biomassa emergente de plantas das diferentes populações amostradas nos Rios Tietê e Piracicaba está apresentada na Tabela 9. A faixa de teores de nutrientes (kg^{-1} : N – 13 a 20; P- 0,8 a 3,0; K – 12 a 30) adequados para *B. brizantha*. (Werner, 1984) subsidiou a interpretação da análise de nutrientes.

Quanto ao nitrogênio, independente da época, percebe-se que a maioria das populações amostradas apresentou teores acima deste padrão de referência, exceto para as populações 26 e 28 referente à 2ª época. Já, para os teores de fósforo e potássio, todas as populações apresentavam valores adequados para gramíneas, sendo encontrados teores elevados na biomassa das populações 6 e 9. Estudos realizados em condições de laboratório e em ambiente natural, em plantas aquáticas têm revelado a importância das variações entre espécies na concentração de nutrientes, a qual também pode ser alterada pela estação climática, idade da planta e estágio de crescimento.

Aláez et al. (1999) sugeriram como uma rápida análise do estado nutricional destas plantas que os valores de 1,3 e 0,13% da biomassa podem ser considerados de maneira geral como concentrações críticas de N e P, respectivamente, para todas as plantas aquáticas, respectivamente. A concentração crítica de nutrientes na planta pode ser definida como a concentração no tecido da planta que permite a produção primária máxima. Assim, em relação a estes níveis críticos citados, pode-se inferir que as plantas de todas as populações amostradas apresentaram absorção excessiva de N. Esta afirmativa pode ser constatada quanto aos acúmulos de N na biomassa coletada no Rio Tietê, os quais resultaram em incrementos de 44,2 a 53,1% na 1ª época (seca) e 47,2 a 67,3% na segunda época, respectivamente, exceto para a população 28 que apresentou redução de 83%, sempre em ordem decrescente com o caminhar em direção à barragem. Já, em relação às populações do Rio Piracicaba observou-se 22,6 a 50,9% na 1ª época (seca) e 19,8 a 48% na segunda época, exceto para a população 26, na qual constatou-se redução de 76%.

Quanto ao fósforo, observou-se nas populações do Rio Tietê acúmulos de 13,3 a 52,2% na 1ª época (seca) e 7,1 a 69,8% na 2ª época (águas), respectivamente, enquanto no Rio Piracicaba a maioria das populações apresentaram teores de P (-8,3 a -62,5%) abaixo do nível crítico pré-estabelecido e não houve diferenças entre as épocas.

Tabela 9. Médias dos teores de macronutrientes presentes na biomassa seca emersa de *Brachiaria subquadriflora* produzida por área das populações estimadas na 1ª época (seca) e 2ª época (águas). Reservatório de Barra Bonita/SP.

Descrição	Pontos	1ª época (seca)			2ª época (águas)		
		N	N	P	K	P	K
		g kg ⁻¹					
Rio Tietê - ponte (Anhembí)	3	27,7	2,9	29,8	39,8	1,8	39,2
Rio Tietê	4	26,0	2,2	27,3	34,5	4,3	38,0
Rio Tietê	6	27,6	2,0	31,8	34,3	1,8	29,8
Rio Tietê	9	36,9	2,5	31,4	27,5	1,4	27,6
Rio Tietê	11	23,3	1,5	26,0	24,4	1,5	27,9
Rio Tietê - cidade							
Rio bonito	13	26,1	1,5	18,3	24,6	2,0	25,1
Rio Piracicaba	14	17,1	1,1	20,8	23,9	1,2	34,0
Rio Piracicaba	16	26,5	1,2	23,0	25,0	1,1	28,6
Rio Piracicaba	19	21,3	0,9	26,9	16,2	0,8	32,1
Rio Piracicaba	20	16,8	0,8	22,4	23,8	1,6	31,9
Rio Piracicaba	23	25,7	1,0	28,1	17,4	1,2	14,8
Rio Piracicaba	26	19,3	1,2	27,8	7,4	0,9	7,9
Rio Tietê - em frente à barragem	28	24,7	0,9	21,3	7,1	2,4	29,8

Aláez et al. (1999) ressaltou que a quantidade de nutrientes acumulada depende da capacidade fisiológica para absorção de nutrientes por determinadas espécies, bem como da biomassa produzida. Os pesquisadores também enfatizaram que a composição de nutrientes nos tecidos destas plantas pode ser considerada como um importante fator para identificar as estratégias ecológicas das espécies e para a predição de interações competitivas em comunidades de plantas. Jackson & Kalff (1993) demonstraram, ainda, que a variação na concentração de macronutrientes nos tecidos de plantas aquáticas está correlacionada com a forma de crescimento da planta.

Cavenaghi (2003) avaliou algumas características da água e do sedimento em relação ao ambiente de ocorrência de plantas aquáticas em reservatórios da bacia do Rio Tietê, e verificou que no reservatório de Barra Bonita havia grandes infestações de *B. subquadripara*, a qual foi considerada como a principal espécie deste ambiente com valor de importância de 16,08 %. Em estudos de levantamento prévio na bacia do Rio Tietê, o pesquisador observou entre os reservatórios do rio Tietê que esta espécie segue uma ordem decrescente de ocorrência a partir de Barra Bonita até o reservatório Três Irmãos, este fato está relacionado com o grau de eutrofização de cada reservatório, sendo observada frequência relativa desta espécie (14,9; 19,0; 13,4; 9,8; 3,3 e 0,019 %) sempre em alta densidade populacional em Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava e Três irmãos, respectivamente.

O monitoramento dos fatores abióticos analisados no habitat de *B. subquadripara* permitiu obter informações importantes para estudos futuros que possuem enfoque na predição da ocorrência da espécie em função das condições ambientais favoráveis ao crescimento das plantas. Outro aspecto a ser destacado, refere-se ao estado nutricional das plantas que revelam as condições tróficas do ambiente aquático, bem como a interação desta espécie com o ambiente resultando em alterações morfo-fisiológicas dependendo dos recursos disponíveis.

Assim, observa-se que estudos relacionados à caracterização do habitat de espécies potencialmente infestantes são escassos no Brasil, o que dificultou a comparação dos resultados ora obtidos com a literatura citada. Ressalta-se também, a importância de pesquisas que visam caracterizar o ambiente de ocorrência de espécies aquáticas no Brasil, os quais são necessários para subsidiar programas de manejo de plantas daninhas aquáticas de forma eficiente em reservatórios de hidrelétricas.

6.1.2 Características químicas do solo das margens e do sedimento

Na região do reservatório de Barra Bonita predominam as classes de solos referente a Latossolo Vermelho Distroférico e Nitossolo Vermelho Distroférico, ambos provenientes de rocha alcalina (basalto) da formação Serra Geral e Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico e Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, provenientes da formação Botucatu (Cavenaghi, 2003).

Os resultados das análises de solo e sedimento nas duas épocas avaliadas (Tabelas 10, 11, 12 e 13) foram comparados a valores recomendados para gramíneas anuais em solos agrícolas (Raij et al., 1997).

A análise da composição do solo das margens e do sedimento revelou na maioria dos pontos amostrados condições de alta acidez (3,7 a 4,6) com exceção dos pontos 3 e 14, nos quais foi observado um caráter básico no sedimento (6,3 e 7,2, respectivamente) na estação seca. Ressalta-se o elevado nível de fertilidade verificado tanto nos solos da margem dos rios quanto no sedimento referente à maioria dos pontos analisados nas duas épocas.

Quanto aos solos da margem dos rios (Tabela 10), percebe-se a distinção de níveis de fertilidade entre os pontos amostrados, quando são considerados os valores de saturação por bases. Assim, foram associados os pontos segundo os níveis de fertilidade definidos em ordem decrescente de acordo com a classificação: na estação seca (> **90%**) – pontos 3, 4, 11, 13 e 28; (**71 a 80%**) – pontos 9, 14, 20, e 26; (**41 a 70%**) - pontos 4, 19 e 23; na estação das águas (> **90%**) – pontos 3, e 13; (**71 a 80%**) – pontos 20, 23, 26 e 28; (**41 a 70%**) - pontos 6, 9, 14 e 16; (**17 a 40%**) – pontos 4, 11 e 19.

Nota-se que, a variação sazonal influenciou no nível de fertilidade dos pontos amostrados, uma vez que, na estação das águas a maioria dos pontos foram classificados em grupos segundo a saturação por bases < 70%. Provavelmente, devido à lixiviação de bases promovidas pelas chuvas.

Para os valores de P, Ca e Mg considerou-se como teores altos de 41 a 80 mg dm⁻³, de 4 a 7 mmol_c dm⁻³ e de 5 a 8 mmol_c dm⁻³, respectivamente. Verificou-se que teores altos de fósforo foram registrados apenas nos pontos 13 e 3 referentes à 1ª e 2ª época (Tabelas 10 e 11). No entanto, os teores médios de 15 a 40 mg dm⁻³ foram predominantes na 1ª época (seca) entre os pontos 3, 4, 11, 16 e 28. Já, em relação à 2ª época (águas) os teores médios foram

observados apenas nos pontos 16 e 28 e quanto aos demais pontos verificou-se teores baixos de fósforo ($<15 \text{ mg dm}^{-3}$).

Para o cálcio, observou-se teores muito altos nos pontos 3, 11, 13, 16 e 28 e na 2ª época (águas) encontraram-se valores na faixa de médio a baixo nos solos referentes aos pontos 9, 14, 16, 19, 20 e 23. Quanto ao magnésio também foram verificados valores muito altos nos pontos 3, 4 e 11, sendo que na 2ª época (águas) apenas o ponto 3 apresenta alto teor de Mg e na maioria dos pontos constatou-se teores baixos.

Tabela 10. Resultados da análise química das amostras de solo coletadas nas margens, referente à 1ª época (seca). Reservatório de Barra Bonita/SP.

Pontos	pH	M.O.	P resina	mmol _c dm ⁻³						V
	CaCl	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	(%)
3	5,6	16,6	33,6	2,2	2,8	89,0	32,0	123,8	126,0	98,2
4	4,9	25,0	15,1	3,0	3,9	16,2	12,8	32,9	35,9	91,7
6	4,0	37,5	14,8	7,5	0,8	8,1	1,0	9,9	17,4	57,1
9	4,1	16,6	6,5	3,5	0,8	6,1	1,8	8,7	12,2	71,3
11	5,0	28,1	21,2	3,0	3,4	28,3	8,4	40,1	43,0	93,1
13	6,6	21,7	44,6	1,2	2,3	34,4	12,0	48,7	49,9	97,5
14	4,5	18,6	9,1	2,6	1,6	4,0	3,8	9,5	12,1	78,4
16	4,6	23,0	15,3	3,6	2,9	10,1	3,4	16,5	20,1	82,0
19	3,9	19,3	7,3	5,0	1,2	2,0	0,4	3,6	8,6	42,0
20	4,6	17,4	6,9	2,2	2,1	6,1	1,8	10,0	12,2	81,6
23	4,0	13,1	3,8	3,4	1,3	4,0	1,4	6,7	10,1	66,4
26	4,5	18,8	5,2	2,8	2,1	6,1	2,6	10,8	13,6	79,2
28	4,7	31,2	20,2	3,5	2,4	72,8	2,6	77,8	81,4	95,7

Tabela 11. Resultados da análise química das amostras de solo coletadas na margem, referente à 2ª época (águas). Reservatório de Barra Bonita/SP.

Pontos	pH	M.O.	P	mmol _c dm ⁻³						V
	CaCl	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	(%)
3	5,7	12,0	60,0	19,0	4,0	177,0	46	228	247	92
4	3,7	11,9	8,6	23,8	2,2	7,1	5,8	15,1	38,8	38,7
6	3,9	16,0	2,3	5,0	1,7	4,0	1,0	6,7	11,7	57,3
9	4,0	14,3	2,7	1,9	0,5	3,0	1,0	4,5	6,5	69,9
11	3,7	10,6	0,9	30,6	1,1	4,0	1,2	6,3	36,9	17,1
13	5,0	12,1	24,7	1,1	2,5	7,1	3,4	13,0	14,1	91,9
14	4,4	10,6	1,3	0,9	0,1	1,0	0,2	1,3	2,3	58,9
16	4,2	13,1	15,9	2,4	0,2	2,0	0,2	2,4	4,8	49,8
19	3,9	18,9	2,4	5,6	0,2	2,0	0,4	2,7	8,3	32,2
20	4,6	10,9	1,5	1,2	2,3	3,0	1,2	6,5	7,7	84,8
23	4,9	11,5	2,0	1,2	0,2	3,0	0,8	4,1	5,3	77,3
26	4,7	10,4	2,0	0,9	0,1	5,1	1,0	6,1	7,0	87,1
28	4,5	44,1	21,4	13,0	5,6	41,5	1,0	48,1	61,1	78,7

A taxa de matéria orgânica no sedimento pode afetar a habilidade das plantas aquáticas em oxigenar as raízes, assim mais que 5 % (peso seco) da matéria orgânica no sedimento pode inibir o crescimento de algumas espécies submersas como *E. canadensis*, *H. verticillata*, *M. aquaticum*, as quais são mais sensíveis neste aspecto do que as plantas emergentes (Barko & Smart, 1983; Barko, et al., 1986; Barko & Smart, 1986). Embora a elucidação para este fato ainda não foi comprovada, os pesquisadores sugeriram que a inibição do crescimento pode ser o resultado do acúmulo de compostos fitotóxicos durante a mineralização anaeróbica do carbono orgânico.

No entanto, a maioria dos pontos amostrados apresentou altos teores de matéria orgânica, sendo observados teores menores que 1,3% nas amostras de sedimentos dos pontos 9 e 26 na 1ª época (seca) (Tabela 12) e 9, 4, 11, 20 e 23 na 2ª época (águas) (Tabela 13). Contudo os altos teores de matéria orgânica observados não influenciaram no desenvolvimento das populações de *B. subquadripara*.

Quanto ao pH do sedimento (Tabelas 12 e 13), observou-se um caráter mais ácido do que em relação ao pH do solo das margens, exceto para os pontos 3, 11 e 23 (pH > 5,5). Contudo, condições de pH baixo no sedimento pode causar níveis fitotóxicos de alguns metais (manganês e alumínio), sendo ainda reduzida a disponibilidade de CO_2^- dissolvido e outros nutrientes (Cálcio e Magnésio). Entretanto, pH alto pode reduzir a disponibilidade de fosfato, sulfato, ferro, manganês (Crossley, 2002; Jackson, et al. 1993).

Assim, o estado oxidado ou reduzido dos sedimentos constitui-se em um fator essencial na regulação do fluxo de nutrientes e o oxigênio liberado pelas raízes de plantas aquáticas, o qual constitui-se no principal fator de estabilização contra a liberação de nutrientes e toxicidade de sulfito (Giusti & Libelli, 2005). Portanto, as raízes das plantas aquáticas marginais podem contribuir para o estado de oxi-redução dos sedimentos, bem como para acidificação ou alcalinidade em função dos exsudatos radiculares.

Tabela 12. Resultados da análise química das amostras de solo submerso (sedimento) coletadas próximo a margem, referente à 1ª época (seca). Reservatório de Barra Bonita/SP.

Pontos	pH	M.O. g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³						V (%)
				H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	
3	6,30	17,00	94,65	1,61	2,28	14,16	32,00	48,44	50,05	96,79
4	4,75	22,85	11,56	3,39	2,10	16,19	7,60	25,89	29,28	88,42
6	4,15	26,17	11,29	5,80	1,86	7,08	2,20	11,14	16,94	65,76
9	4,17	11,73	4,03	1,41	0,24	4,05	1,60	5,89	7,30	80,63
11	7,24	29,68	70,45	0,93	3,00	21,25	13,80	38,05	38,97	97,62
13	4,15	24,02	28,50	5,99	1,20	12,14	5,80	19,14	25,13	76,18
14	4,15	14,07	3,23	1,86	0,78	2,02	0,80	3,60	5,46	65,95
16	4,39	16,80	3,76	2,66	0,24	3,04	0,40	3,68	6,34	58,00
19	3,76	23,05	6,05	5,99	0,42	3,04	0,60	4,06	10,04	40,38
20	4,14	12,12	1,75	1,90	1,08	3,04	0,80	4,92	6,81	72,12
23	5,45	15,44	1,34	0,92	0,42	3,04	1,00	4,46	5,37	82,90
26	4,25	10,75	1,61	1,25	0,48	3,04	0,80	4,32	5,56	77,58
28	4,70	45,49	14,52	10,35	2,52	41,48	13,60	57,60	67,95	84,77

Tabela 13. Resultados da análise química das amostras de solo submerso (sedimento) coletadas próximo a margem, referente à 2ª época (águas). Reservatório de Barra Bonita/SP.

Pontos	pH	M.O.	P	mmol _c dm ⁻³						V
	CaCl	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	(%)
3	5,4	34,0	96,8	3,1	2,9	72,8	17,4	93,2	96,3	96,7
4	5,6	10,2	6,7	0,9	0,7	4,0	1,4	6,2	7,1	87,3
6	4,2	41,0	21,8	9,6	2,3	10,1	2,6	15,0	24,6	60,9
9	4,6	13,1	5,8	1,5	0,4	3,0	1,0	4,5	5,9	75,3
11	4,1	10,2	1,9	24,8	1,7	10,1	2,6	14,4	39,2	36,7
13	5,3	13,5	13,8	1,4	0,7	9,1	3,2	13,0	14,5	90,0
14	4,5	13,5	4,4	1,4	0,3	3,0	0,8	4,1	5,5	75,1
16	4,1	19,7	6,2	4,0	0,8	3,0	1,2	5,1	9,0	56,1
19	4,1	26,4	7,4	6,6	1,0	8,1	2,0	11,1	17,6	62,7
20	4,4	12,1	2,6	1,3	0,4	4,0	1,2	5,6	6,9	81,2
23	5,2	10,4	2,3	0,9	0,6	5,1	1,4	7,1	7,9	89,1
26	4,3	11,7	3,9	1,3	0,0	2,0	0,4	2,4	3,7	65,1
28	4,2	63,3	34,3	11,6	1,6	27,3	5,4	34,3	46,0	74,7

6.1.3 Características físico-químicas da água

Na Tabela 14 estão apresentadas as variáveis físico-químicas monitoradas nas amostras de água do reservatório, referentes às duas épocas de amostragem (estação seca e das águas). As amostras de água coletadas no Rio Tietê referente aos pontos 3, 4, 6, 9, 11, 13 e 28, apresentaram valores médios de pH na estação seca de 7,02 a 7,82 e na estação das águas registrou-se uma maior amplitude de variação (6,80 a 8,0). Já, no Rio Piracicaba verificou-se que o pH da água na estação seca oscilou de 6,89 a 7,35, enquanto na estação das águas foram observados valores de 6,5 a 7,2. Em corpos hídricos naturais, o ácido carbônico constitui-se na principal fonte de íons hidrogênio, os quais são liberados pela dissociação resultando em média pH de 5,7 e dependendo da concentração destes ácidos pode ocorrer redução nos valores de pH (Boon, 1995).

A amplitude de variação de pH em corpos hídricos naturais é considerada alta, no entanto, as plantas aquáticas apresentam tolerância a esta variação, sendo que a faixa de pH favorável corresponde a 5 e 7,5, embora possam tolerar uma amplitude maior (Crossley, 2002). A densidade populacional estimada para *B. subquadripara* não foi influenciada pelas variações sazonais de pH observadas, uma vez que a menor densidade de biomassa observada na estação seca (1ª época, inverno) provavelmente ocorreu em função de variações climáticas.

A condutividade elétrica apresentou estreita faixa de variação entre a estação das águas e seca, porém os maiores valores foram registrados entre os pontos 3 a 13 referentes ao braço do Rio Tietê e variaram de 262 a 370 $\mu\text{S cm}^{-1}$. A condutividade média registrada nestes locais pode ser relacionada principalmente à maior concentração de cálcio, alcalinidade causada por outros compostos e a faixa de pH variou de 7,04 a 7,82 e 6,8 a 8,0 na estação seca e das águas, respectivamente.

Observou-se também, maior concentração de sais na água nos pontos do rio Tietê próximos à cidade de Anhembi. Este fato provavelmente constitui-se em uma das conseqüências geradas pela poluição devido ao aumento da concentração de sais na água. Onaindia et al. (1996) avaliaram a relação entre a ocorrência de plantas aquáticas e fatores ambientais em alguns rios da Espanha. Os pesquisadores encontraram altos valores de condutividade elétrica com amplitude de 200 a 9.560 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e associaram os altos valores encontrados, em alguns casos, à formação de gesso e em outros à poluição urbana e industrial.

Os valores médios de turbidez foram menores na estação seca, que oscilou entre 2,31 e 5,84 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez) e maiores na amostragem realizada na estação das águas, quando foi registrada uma amplitude de 3,04 a 54,0 NTU. Este fato implica em um importante fator de redução na taxa de transmissão de luz no sistema aquático. Nota-se que a turbidez não apresentou uma relação direta com o desenvolvimento das populações de *B. subquadripara*.

Tabela 14. Características químicas e físicas da água nos locais de coleta durante a estação seca e das águas. Reservatório de Barra Bonita/SP.

Pontos	1ª época (seca)			2ª época (águas)		
	pH	Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Turbidez (NTU)	pH	Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Turbidez (NTU)
3	7,19	370	2,38	6,8	291	16,93
4	7,08	330	3,73	7,2	245	5,62
6	7,04	281	2,31	7,0	260	16,41
9	7,02	280	2,4	8,0	185	13,55
11	7,82	260	3,14	7,4	161	10,98
13	7,34	262	3,48	7,3	183	3,04
14	7,35	150	2,71	7,1	100	53,05
16	6,89	130	2,85	7,1	134	28,28
19	6,75	153	9,43	7,1	174	54,00
20	6,96	140	4,06	7,3	130	48,84
23	6,86	170	3,38	6,5	153	21,58
26	6,95	180	1,37	7,2	140	3,35
28	7,43	194	5,84	7,1	203	18,4

A concentração de NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , N total, PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ na água correspondente à estação seca e das águas estão apresentados na Tabelas 15 e 16, respectivamente. Observou-se que no Rio Tietê quanto aos teores de NO_3^- e NO_2^- , bem como N Total apresentaram redução contínua com o caminhar em direção à barragem da UHE, independente da variação sazonal. A concentração de nitrogênio total, frequentemente é utilizada na classificação trófica de corpos hídricos. Novo & Leite (1996) realizaram um estudo no reservatório de Barra Bonita em agosto de 1990 (inverno) com o intuito de definir seu estado trófico, utilizando a análise dos dados limnológicos em sistemas de informação geográfica. Os pesquisadores concluíram que, em termos de disponibilidade de N total, o reservatório apresenta-se espacialmente heterogêneo, sendo considerado eutrófico em todo o braço do Rio Tietê e corpo central do reservatório, enquanto o braço do Rio Piracicaba se apresenta Mesotrófico.

Quanto ao nitrogênio amoniacal, observou-se ampla variação entre os pontos amostrados, sendo mais expressivo em relação aos valores extremos registrados no braço do Rio Piracicaba que oscilaram entre 0,006 a 1,37 e 0,207 a 4,82 mg L^{-1} de NH_4^+ na estação seca

e das águas, respectivamente. Contudo, ainda em relação à concentração de amônio, Onaindia et al. (1996) relataram que a principal via de entrada deste íon no ecossistema aquático é consequência da poluição gerada por despejos urbanos e agrícolas, sendo que altas concentrações de NH_4^+ foram correlacionadas com a ausência de plantas aquáticas, o que pode ser considerado como um efeito da toxicidade deste íon de absorção pelas plantas. A distribuição de plantas aquáticas analisada neste estudo citado foi limitada por zonas altamente mineralizadas e eutrofizadas, as quais foram ocasionadas pela poluição industrial. Assim, em alguns casos a presença de plantas aquáticas indicou ausência de toxicidade por amônio. Barcelo et al., (1981) citado por Onaindia et al. (1996) ressaltaram que a absorção de amônio, geralmente, causa um aumento na demanda por carboidratos, o que implica em maior atividade metabólica para manter o potencial osmótico intracelular.

Alguns estudos relatam o fenômeno da hipertrofização e isto implica em possíveis transtornos no balanço químico e biológico no qual interagem na oxidação de grande quantidade de matéria orgânica que produz altos níveis de NO_2^- e NH_4^+ , os quais são tóxicos para os organismos aquáticos que toleram a eutrofização natural, bem como a liberação de energia no ecossistema. Em consequência, resulta em uma explosão do fitoplâncton que excede o controle realizado pelo zooplâncton e outros organismos do habitat. Assim, pode ocasionar um aumento na assimilação de CO_2 pela alta densidade do fitoplancton que leva a um aumento no pH e na concentração de NH_4^+ , o qual pode originar NH_3 que constitui-se em uma forma de nitrogênio ainda mais tóxica para organismos aquáticos (Bierneaux, 1979 citado por Onaindia et al., 1996).

Entretanto, estudos realizados em laboratório demonstraram que algumas espécies hidrófitas (*E. densa* e *Potamogeton pectinatus* L.) possuem potencial na absorção de NH_4^+ por meio de suas raízes e translocaram o N marcado para caules e folhas (Toetz, 1974).

Para o fosfato, verificou-se na estação seca ampla variação na concentração deste composto (0,97 a 77,45 mg L^{-1}) entre os pontos do Rio Tietê e baixos valores para os pontos amostrados no Rio Piracicaba (0,05 a 0,34 mg L^{-1}). Entretanto, na estação das águas referente aos pontos localizados no Rio Tietê, observou-se redução progressiva na concentração de PO_4^{3-} em direção à barragem da UHE, independente da época avaliada. Quanto ao Rio Piracicaba, nota-se que a amplitude de variação da concentração de fosfato mantém-se constante em relação à época anterior.

Chambers et al. (1994) verificaram que independente das distâncias do efluente estudadas, a presença de altas densidades de plantas aquáticas (valor estimado 200 g m^{-2}) ocasionou um aumento na concentração de fósforo total ($30 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ para $118 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$) e nitrogênio total dissolvido ($323 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ para $553 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$). No presente estudo, observou-se que a maioria das densidades de plantas foi considerada alta ($>0,350 \text{ Kg m}^{-2}$) sendo estimados valores de $0,901 \text{ Kg m}^{-2}$ no verão. Porém, a concentração de N total não foi maior nestas áreas com maior densidade. Já, para o fosfato verificou-se alta concentração no ponto 13, onde foi encontrada a maior área de infestação (2 ha) por *B. subquadripa* registrada no reservatório na estação das águas.

A concentração de SO_4^{2-} não apresentou variações extremas entre épocas e rios avaliados, sendo consideradas relativamente constantes em relação aos locais e tempo com amplitude de $19,3$ a $32,7 \text{ mg L}^{-1}$. Estes valores são considerados baixos em relação às concentrações máximas tolerável (250 mg L^{-1} de SO_4^{2-}) para água doce classes 1 e 2 (RESOLUÇÃO CONAMA, n° 357 de 2005). Crossley (2002) ressaltou que altos valores de pH estão associados à redução da disponibilidade de fosfato, sulfato, ferro e manganês. Provavelmente, a faixa de pH alcalino encontrada nos rios analisados independente da época, possa ter influenciado nos teores de sulfato na água. No entanto, algumas espécies são correlacionadas com a concentração de SO_4^{2-} , a exemplo de *Lemna minor* L., que coloniza ambientes que apresentam concentrações de 253 mg L^{-1} (Onaindia et al., 1996).

Quanto às concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ independente da época avaliada verificou-se maiores valores nos pontos localizados no Rio Tietê. Contudo, os maiores valores de cálcio e magnésio foram registrados na estação das águas e para o potássio na estação seca.

A dureza da água refere-se à quantidade de íons de cálcio e magnésio na água. No entanto, em alguns casos os íons ferro e manganês também influenciam nesta propriedade. As plantas aquáticas de acordo com a espécie variam em respostas quanto à dureza da água, como *E. densa* ($64 - 144 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$) e *C. aquática* ($16 - 64 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$). O aumento na dureza da água contribui para a salinidade devido ao aumento da concentração de íons de cálcio e magnésio (Crossley, 2002).

Contudo, observou-se no presente estudo que *B. subquadripa* apresentou elevado potencial na colonização de áreas com diferentes concentrações de cálcio tanto no solo quanto

na água (no inverno 3,3 a 25,1 mg L⁻¹ e no verão 8,0 a 15,7 mg L⁻¹), sendo registradas produções de biomassa seca de até 11 toneladas em uma área infestada de 2 hectares.

Tabela 15. Concentração dos macronutrientes na água, referente à 1ª época (seca). Reservatório de Barra Bonita/SP.

Pontos	Concentração (mg L ⁻¹)								
	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	N total	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
3	54,07	0,191	0,881	55,15	1,11	22,67	13,784	3,453	17,224
4	51,79	0,016	0,078	51,89	0,97	22,99	14,073	3,655	10,748
6	31,95	0,015	0,046	32,01	1,22	21,71	11,394	4,399	7,539
9	38,98	0,010	0,039	39,03	1,21	21,77	11,782	3,356	7,273
11	33,81	0,011	0,088	33,91	1,08	22,04	25,115	3,231	6,090
13	28,23	0,006	0,081	28,32	77,45	19,96	9,310	2,948	5,443
14	6,75	0,028	0,361	7,14	0,08	22,25	4,698	1,998	4,196
16	6,71	0,053	0,057	6,82	0,07	21,63	4,157	1,916	3,801
19	3,81	0,261	0,108	4,17	0,06	25,78	3,311	1,845	3,074
20	4,40	0,010	0,006	4,42	0,05	32,67	3,674	2,107	3,010
23	8,26	0,005	0,012	8,27	0,08	21,64	6,616	2,352	4,613
26	6,78	0,276	1,370	8,43	0,34	20,26	7,070	2,356	4,676
28	6,77	0,220	1,165	8,16	0,36	20,03	6,797	2,411	5,006

Tabela 16. Concentração dos macronutrientes na água, referente à 2ª época (águas). Reservatório de Barra Bonita/SP.

Pontos	Concentração (mg L ⁻¹)								
	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	N total	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
3	44,04	0,044	0,207	44,29	2,10	26,63	15,67	8,15	3,61
4	41,46	0,041	4,821	46,32	2,28	32,20	14,61	8,05	3,57
6	22,39	0,022	1,227	23,64	2,04	24,66	14,48	7,87	3,25
9	25,15	0,025	0,925	26,10	1,44	21,58	14,66	7,75	3,22
11	24,62	0,025	1,162	25,81	0,52	25,28	14,01	8,07	3,55
13	22,04	0,022	0,777	22,84	0,87	20,96	13,45	8,12	3,29
14	4,29	0,004	0,828	5,12	0,08	22,18	8,00	6,10	1,83
16	3,48	0,003	0,501	3,98	0,06	22,86	8,28	6,14	1,79
19	3,17	0,003	0,777	3,95	0,28	23,62	6,46	5,30	1,50
20	3,75	0,004	0,999	4,75	0,30	26,37	8,12	6,23	1,79
23	13,49	0,013	1,410	14,92	0,67	22,65	8,95	6,54	1,97
26	12,06	0,012	0,653	12,73	0,10	22,01	10,17	6,95	2,15
28	9,44	0,009	1,348	10,79	0,18	19,26	9,26	6,56	1,89

Os metais pesados representam um grupo especial, uma vez que, a presença desses no ambiente aquático em concentrações elevadas causa a mortalidade de peixes e seres fotossintetizantes, podendo atingir ao homem via cadeia alimentar causando diversas doenças. A distribuição dos metais apresenta relação direta com as substâncias húmicas, as quais em sua estrutura possuem alto teor de oxigênio e excepcional capacidade para complexar metais, o que influencia no transporte, armazenamento e biodisponibilidade no ambiente. A matéria orgânica presente nos sistemas aquáticos e solos consiste de uma mistura de compostos, em vários estágios de decomposição, resultantes da degradação química e microbiológica de resíduos vegetais e animais (Santos et al., 2007).

Contudo, no presente estudo as concentrações metálicas na água (Tabelas 17, 18 e 19), exceto para Al, As, Fe e Se referente à 1ª época, estiveram abaixo dos valores delineados por órgãos reguladores de concentrações metálicas em águas superficiais de classe 2, segundo resolução estabelecida pela Resolução do CONAMA n° 357 de 2005, Ministério Meio Ambiente.

Como o pH das amostras foi considerado de caráter básico com uma faixa de variação de 6,86 a 7,43, supõe-se que a maior disponibilidade de alguns metais possa estar relacionada

ao aumento da solubilidade por meio do processo de quelatização nestes metais com substâncias húmicas.

Para o alumínio foram encontrados valores em níveis considerados elevados que estavam acima do limite máximo aceitável ($100 \mu\text{g L}^{-1}$), as quais variaram de 209,6 a $2.175 \mu\text{g L}^{-1}$ nos pontos 13, 14, 16, 19, 20 e 23.

O arsênio também apresentou concentrações acima do limite máximo ($1 \mu\text{g L}^{-1}$), as quais oscilaram entre 1,3 a $83,4 \mu\text{g L}^{-1}$, sendo que apenas os pontos 3, 6 e 13 não apresentaram níveis considerados elevados

Quanto ao ferro, observou-se altas concentrações entre os pontos 14, 16, 19 e 20 com amplitude de 533,2 a $1.164,1 \mu\text{g L}^{-1}$ excedendo assim o limite máximo permitido ($300 \mu\text{g L}^{-1}$).

A tolerância máxima de selênio na água é de $10 \mu\text{g L}^{-1}$, sendo observada contaminação nos pontos 4, 6, 13, 26 e 28 com amplitude de 11 a $24 \mu\text{g L}^{-1}$.

No entanto, ainda em relação à 1ª época (seca) quanto às concentrações de chumbo, ressalta-se que os pontos 9 e 23 apresentaram valores próximos ao limite máximo aceitável ($10 \mu\text{g L}^{-1}$).

Tabela 17. Concentrações de elementos químicos a água correspondente aos pontos de coleta na 1ª época (seca). Reservatório de Barra Bonita/SP.

Pontos	Concentrações de metais na água															
	1ª época (seca)							2ª época (águas)								
	(µg L ⁻¹)							(mg L ⁻¹)								
	Ni	Pb	Se	Sn	V	Zn	Na	Si	Ni	Pb	Se	Sn	V	Zn	Na	Si
3	0,0	0,0	0,0	7,3	3,5	0,0	4,7	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	3,1
4	0,0	0,0	19,6	0,0	47,9	0,0	4,5	6,6	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	9,2	3,0
6	0,0	0,4	18,9	47,9	72,0	0,0	2,4	7,7	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	8,3	2,8
9	0,0	6,3	5,7	350,9	9,6	0,0	2,6	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,7	2,8
11	0,0	0,0	0,0	18,1	71,6	0,0	1,9	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	1,4
13	0,0	0,0	24,0	161,9	45,9	0,0	1,7	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	7,7	1,2
14	0,0	2,2	0,0	23,0	48,1	0,0	1,1	9,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	1,8
16	0,0	1,7	4,7	201,6	30,7	0,0	1,0	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	1,9
19	0,0	1,6	0,0	0,0	86,9	0,0	0,6	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	2,3
20	0,0	0,0	4,5	40,8	46,9	0,0	0,8	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	2,6
23	0,0	7,2	4,1	16,5	5,0	0,0	1,3	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	1,7
26	0,0	0,0	11,1	53,6	38,3	0,0	1,9	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	4,4	1,2
28	0,0	1,0	11,0	54,5	14,8	2,4	2,0	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	4,9	1,3

Tabela 18. Concentração de elementos químicos na água correspondente aos pontos de coleta na 1ª época (seca). Reservatório de Barra Bonita/SP.

Pontos	Concentrações de metais ($\mu\text{g L}^{-1}$) na água													
	Al	As	B	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li	Mn	Mo
3	0,0	0,0	33,2	17,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,0
4	0,0	3,5	30,9	12,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	23,1	18,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	2,9
9	0,0	1,3	23,4	24,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1
11	7,1	3,7	17,1	30,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4
13	394,7	0,4	19,4	24,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	67,8	0,0	0,0	2,0	0,0
14	642,2	23,2	13,0	25,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	533,5	0,0	0,0	3,6	0,5
16	946,0	35,0	12,6	29,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	533,2	0,0	0,0	1,7	2,1
19	2.175,0	83,4	9,1	41,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.164,1	0,0	0,0	4,3	1,0
20	936,4	79,3	10,5	31,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.093,4	0,0	0,0	4,8	1,4
23	209,6	6,9	15,4	33,6	0,0	0,2	0,0	0,0	0,7	203,2	0,0	0,0	0,0	0,4
26	27,8	4,0	18,4	30,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,3	0,0	0,0	4,0	0,5
28	7,8	12,8	13,4	31,4	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	4,0	0,7

Tabela 19. Concentração de elementos químicos na água correspondente aos pontos de coleta na 2ª época (águas). Reservatório de Barra Bonita/SP.

Pontos	Concentrações de metais ($\mu\text{g L}^{-1}$) na água													
	Al	As	B	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li	Mn	Mo
3	7,6	0,0	5,7	17,7	0,2	0,0	0,0	0,0	1,7	18,1	0,0	2,6	54,3	0,0
4	10,1	0,0	6,5	13,4	0,2	0,0	2,3	0,0	1,5	17,7	0,0	2,8	9,3	0,0
6	4,2	0,0	7,1	18,3	0,2	0,0	0,9	0,0	0,8	17,2	0,0	1,6	0,0	2,1
9	5,6	0,0	7,8	17,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	19,9	0,0	2,5	14,6	0,0
11	0,5	0,0	8,1	19,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	22,2	0,0	2,5	0,0	0,0
13	5,0	0,0	9,9	17,7	0,3	0,0	0,1	0,0	0,7	23,1	0,0	2,7	15,0	0,0
14	13,8	0,0	13,0	34,4	0,1	0,0	0,0	0,0	3,0	19,7	0,0	1,3	0,0	0,0
16	7,5	0,0	13,1	35,3	0,4	0,0	2,3	0,0	3,7	20,7	0,0	1,2	0,0	0,0
19	28,6	0,0	14,0	37,0	0,4	0,0	0,4	0,0	1,2	17,5	0,0	1,3	0,0	0,0
20	19,2	0,0	13,5	36,4	0,2	0,0	0,4	0,0	3,8	17,8	0,0	1,1	0,0	0,0
23	15,5	0,0	12,5	30,7	0,4	0,2	1,6	0,0	1,2	22,0	0,0	0,8	0,0	0,0
26	2,8	0,0	11,7	31,0	0,2	0,0	0,0	0,0	2,0	12,0	0,0	0,9	0,0	0,0
28	4,5	0,0	13,6	34,1	0,2	0,0	0,0	0,0	1,8	15,0	0,0	0,8	0,0	0,0

6.2 Estudos preliminares: Determinação dos níveis de nutrientes favoráveis ao crescimento da espécie

6.2.1 Monitoramento de alguns fatores químicos e físicos da solução nutritiva

As condições físicas e químicas monitoradas durante a condução do experimento estão apresentadas nas Figuras 6, 7 e 8. Observou-se que os valores de pH e condutividade foram menores à medida que ocorreram as diluições das amostras. Percebe-se também, que houve uma redução inicial de pH, condutividade (apenas nas diluições 0 e 20%) e temperatura entre os dias 4 e 6 após o transplântio (DAT). Após este período ocorreu um aumento dos valores de pH e a condutividade permaneceu constante ou com pequenas oscilações até aos 18 DAT. Aos 14 DAT, momento em que foi realizada a renovação da solução nutritiva nota-se que, em todas as diluições, o pH estava na amplitude pré-estabelecida (5,5 a 6,5), entretanto continuou aumentando até os 22 DAT. Já a condutividade apresentou pequenas oscilações no período após a renovação da solução. Enquanto, em relação à temperatura foram observados picos de variações acentuados após aos 18 DAT, período no qual foram registradas variações na temperatura entre 20 e 26°C.

Assim, avaliando-se todos os parâmetros investigados neste estudo preliminar, verifica-se que a diluição de 20% da solução nutritiva propiciou as melhores condições ao desenvolvimento da planta no período avaliado, sendo representativa para ser utilizada como solução base destinada à aplicação dos diferentes níveis de N, P e K no estudo definitivo.

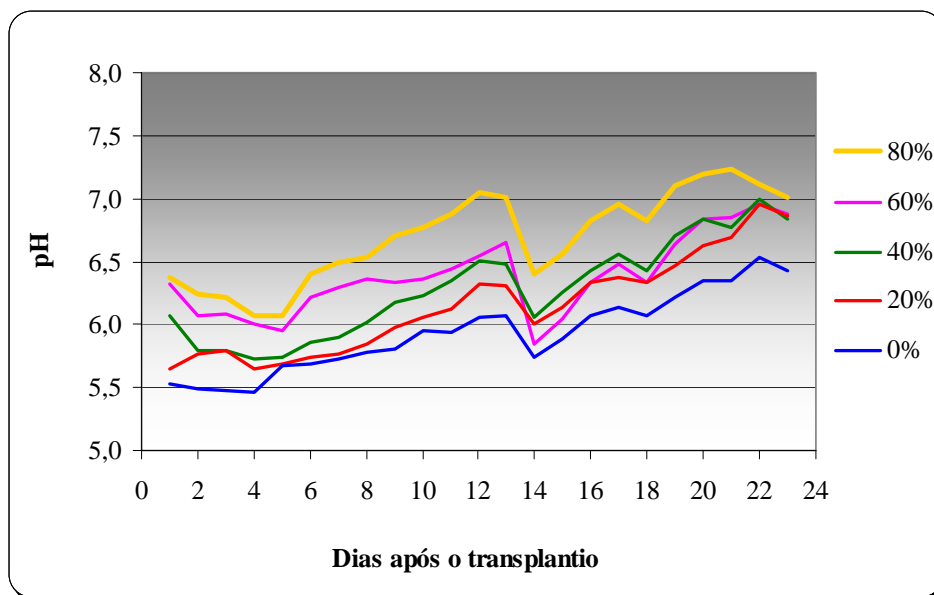


Figura 6. Variações dos valores de pH referente às diluições da solução nutritiva durante o período de condução do experimento. Botucatu, 2006.

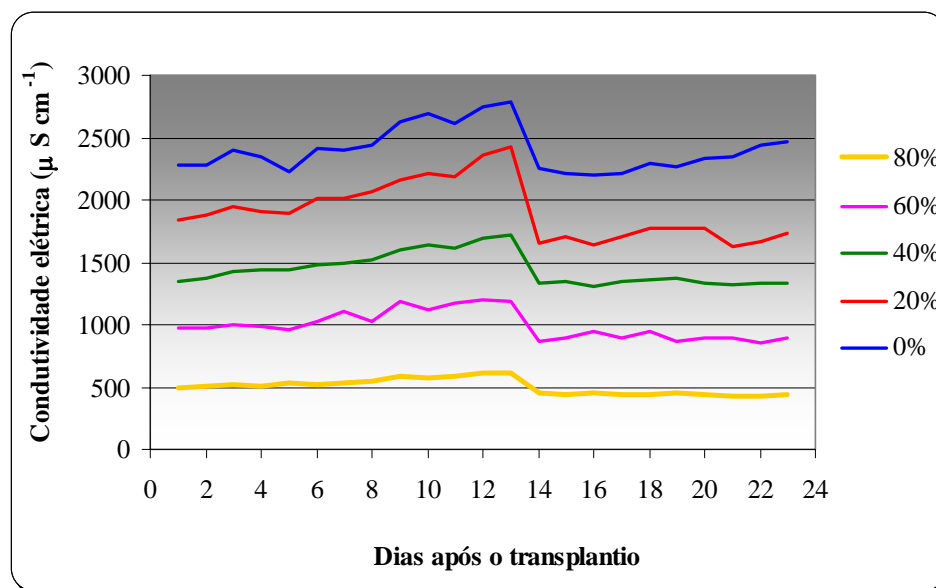


Figura 7. Variações dos valores de condutividade elétrica referente às diluições da solução nutritiva durante o período de condução do experimento. Botucatu, 2006.

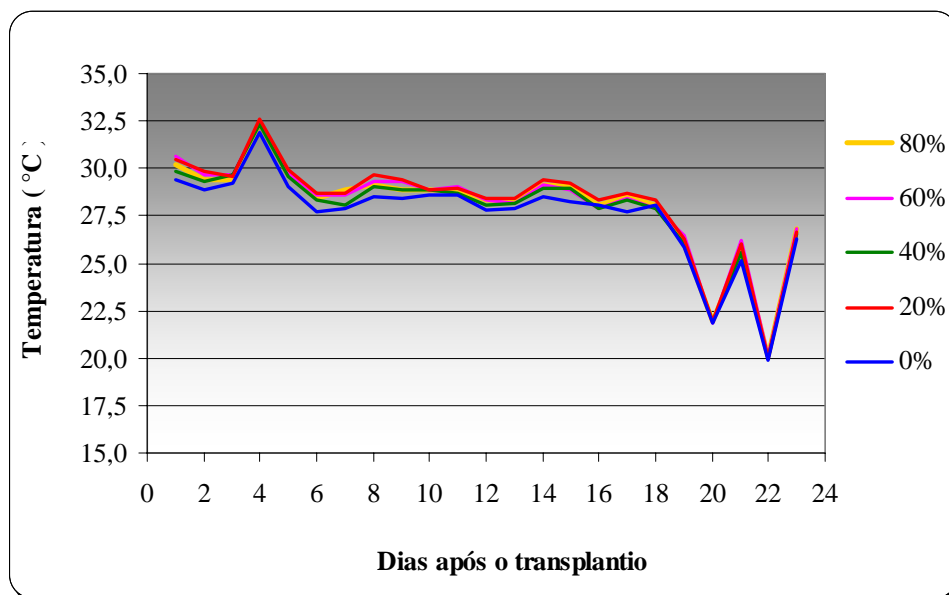


Figura 8. Variações dos valores de temperatura referente às diluições da solução nutritiva durante o período de condução do experimento. Botucatu, 2006.

6.2.2 Variáveis biométricas do estudo preliminar

Observa-se que a área foliar (Figura 9) apresentou tendência a manter-se menor nas plantas submetidas a diluições da solução nutritiva referente a 80% e constante entre 20 e 40%, as quais propiciaram os maiores valores de área foliar (292,3 e 305,7 cm², respectivamente). O acúmulo de biomassa seca não foi significativo em relação às diluições, no entanto, observou-se maior produção de biomassa de folhas na diluição de 20% (Figura 10). A alocação de biomassa em folhas e raízes ocorreu em proporções semelhantes independente do tratamento utilizado. No entanto, a maior alocação de biomassa foi observada nos colmos e na diluição a 60% houve maior acúmulo.

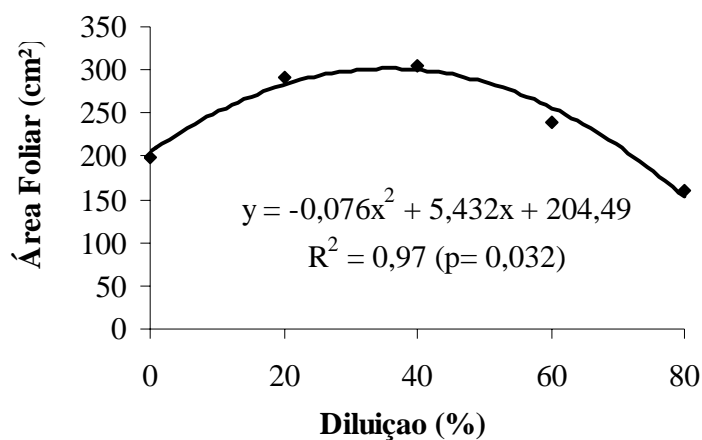


Figura 9. Efeito de diferentes diluições da solução nutritiva de Sarruge sobre a área foliar das plantas de *Brachiaria subquadriflora*. Botucatu/SP, 2006.

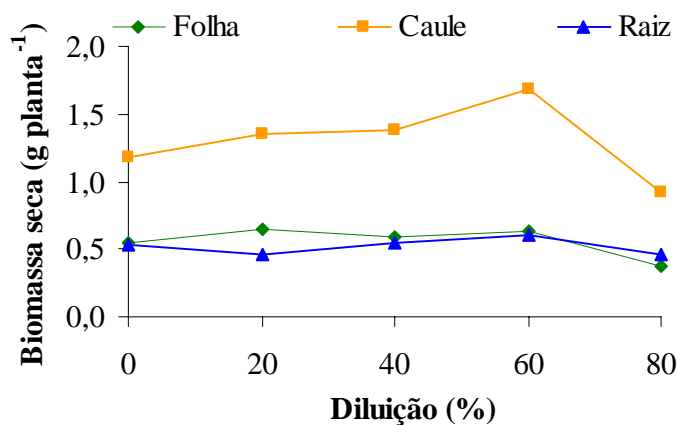


Figura 10. Efeito de diferentes diluições da solução nutritiva de Sarruge sobre a biomassa seca dos diferentes órgãos das plantas de *Brachiaria subquadriflora* Botucatu/SP, 2006.

Quanto aos teores de macronutrientes nas folhas, não foram verificados sintomas de deficiências, mas constatou-se que os teores de nitrogênio foram reduzidos em função da diluição da solução (Tabela 20). Este fato pode ser constatado na Figura 11, referente ao aspecto visual das folhas das plantas em função das diluições da solução nutritiva. Observou-se sintomas de deficiência de nitrogênio nas folhas pela coloração amarela e redução na produção de folhas em relação às soluções mais concentradas (40 e 20% de diluição).

Entretanto a solução que não foi diluída (0%) também apresentou redução na produção de folhas.

Já, em relação aos demais nutrientes (Tabela 23), exceto o fósforo, verificou-se uma redução em menor amplitude.

Tabela 20. Teores de macronutrientes presente nas folhas de *Brachiaria subquadrifera* cultivada em diferentes diluições da solução nutritiva de Sarruge. Botucatu, 2006.

Diluição (%)	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
0	40,11	7,61	32,50	10,30	6,60	6,82
20	39,76	7,98	31,50	9,60	6,60	6,49
40	39,55	8,08	31,00	9,60	6,70	6,78
60	38,29	7,61	31,30	8,80	6,00	6,24
80	34,23	9,19	30,90	11,10	6,50	5,32

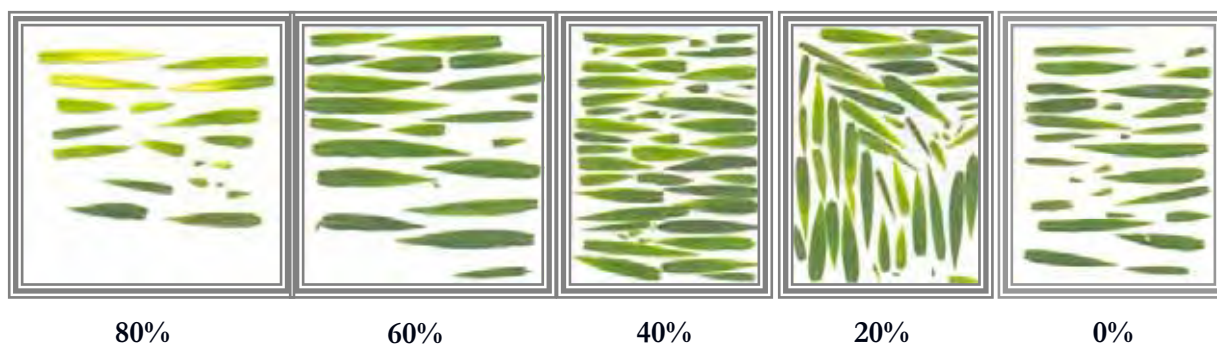


Figura 11. Fotos das folhas das plantas de *Brachiaria subquadrifera* submetidas a diferentes diluições da solução nutritiva de Sarruge. Botucatu/SP, 2006.

Os teores de micronutrientes também foram considerados adequados para o desenvolvimento da planta, exceto quanto aos teores de cobre e manganês, os quais apresentavam concentrações até três vezes acima dos padrões de demanda para espécies do gênero *Brachiaria* (Tabela 21). Quanto aos valores de teor de manganês, talvez possa ser explicado por um possível acúmulo na fase de multiplicação das mudas, uma vez

que, foi utilizado Latossolo inundado, isto pode ter propiciado condições (pH mais ácido) para a maior disponibilidade deste micronutriente.

Tabela 21. Teores de micronutrientes nas folhas de *Brachiaria subquadripara* cultivada em diferentes diluições da solução nutritiva de Sarruge. Botucatu, 2006.

Diluição (%)	Zn	Fe ³⁺	Cu ²⁺	Mn ²⁺
	mg kg ⁻¹			
0	72	142	17	635
20	64	345	19	609
40	54	144	12	486
60	74	138	17	750
80	64	149	11	412

O número de folhas emersas (Figura 12. a) também foi maior na diluição de 20% e o número de perfilhos foi semelhante entre as diluições avaliadas. No entanto, na parte submersa (Figura 12. b), entre folhas e perfilhos ocorreu um comportamento similar em relação às diluições avaliadas, porém observou-se redução mais acentuada nas folhas na diluição a 80%.

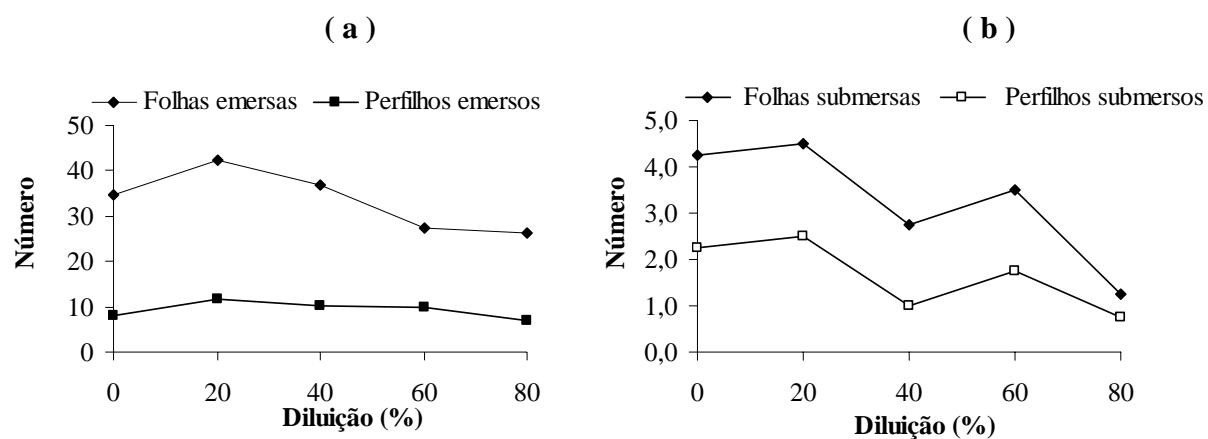


Figura 12. Efeito de diferentes diluições da solução nutritiva de Sarruge sobre o número de folhas e perfilhos emersos (a) e submersos (b) das plantas de *Brachiaria subquadripara*. Botucatu/SP, 2006.

O comprimento de perfilhos na porção emersa (Figura 13. a). e submersa (Figura 13. b) apresentou grandes variações em relação às diluições, contudo foi observado que a diluição de 20% propiciou um melhor desenvolvimento das plantas.

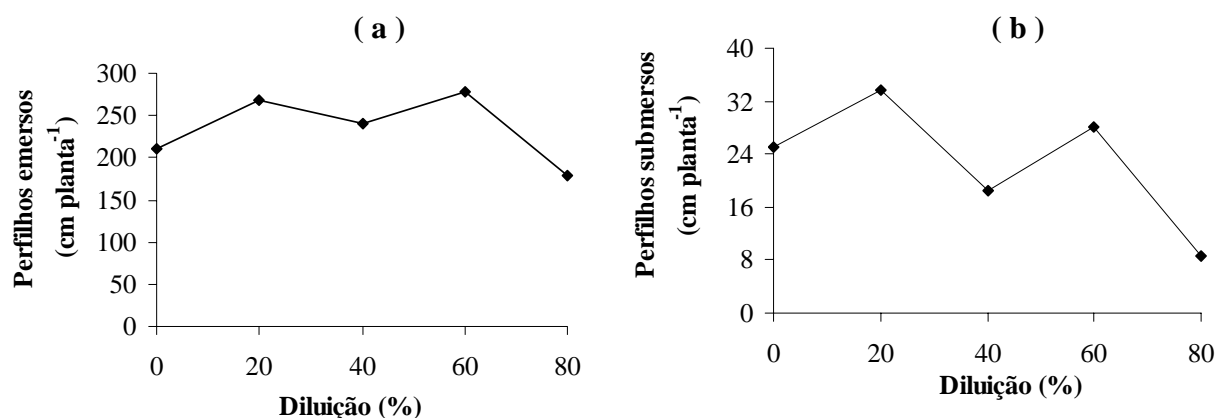


Figura 13. Efeito de diferentes diluições da solução nutritiva de Sarruge sobre o comprimento de perfilhos emersos (a) e submersos (b) das plantas de *Brachiaria subquadripara*. Botucatu/SP, 2006.

A seleção da diluição mais adequada para a condução do experimento definitivo considerou-se principalmente o estado nutricional da planta. Entretanto, apenas a análise individual do acúmulo de biomassa nos colmos observado em maior proporção na diluição de 60% não seria suficiente para assegurar a concentração de nutrientes favorável ao crescimento. Assim, a análise dos teores de nutrientes revelou que a diluição a 20% proporcionou condições adequadas para maior absorção dos principais macronutrientes, o que confere maior confiabilidade para ser utilizada como testemunha durante um período maior de condução de um estudo, como definido para o experimento definitivo.

6.3 Estudo do crescimento e absorção de nutrientes sob o efeito de diferentes níveis de N, P e K

6.3.1 Monitoramento de alguns fatores químicos e físicos da solução nutritiva

As condições físicas e químicas monitoradas durante a condução do experimento estão apresentadas nas Figuras 14, 15 e 16. Verificou-se na primeira semana referente à fase de adaptação das plantas aos diferentes níveis de N, P, e K que o pH foi semelhante entre as soluções. No entanto aos 11 DAT, observou-se uma redução no pH da solução completa (SC), N 25, 50 e 75%, bem como para P 50%. Após 21 DAT, ocorreram picos de redução acentuada no pH da solução a 50, 75 e 25% de N e, a 50, 75 e 25% de K, sendo que as demais soluções testadas permanecem relativamente constantes com poucas oscilações durante o período experimental. Em todas as condições nutricionais testadas, foi mantida a concentração originalmente estabelecida por meio das trocas da solução realizada em intervalos de 7 dias. No entanto, as variações extremas de pH observadas entre as soluções 50, 75 e 25% de N e, a 50, 75 e 25% de K podem estar relacionadas ao processo de absorção que possibilita trocas de nutrientes com o meio de cultivo ou pela liberação de exsudatos radiculares.

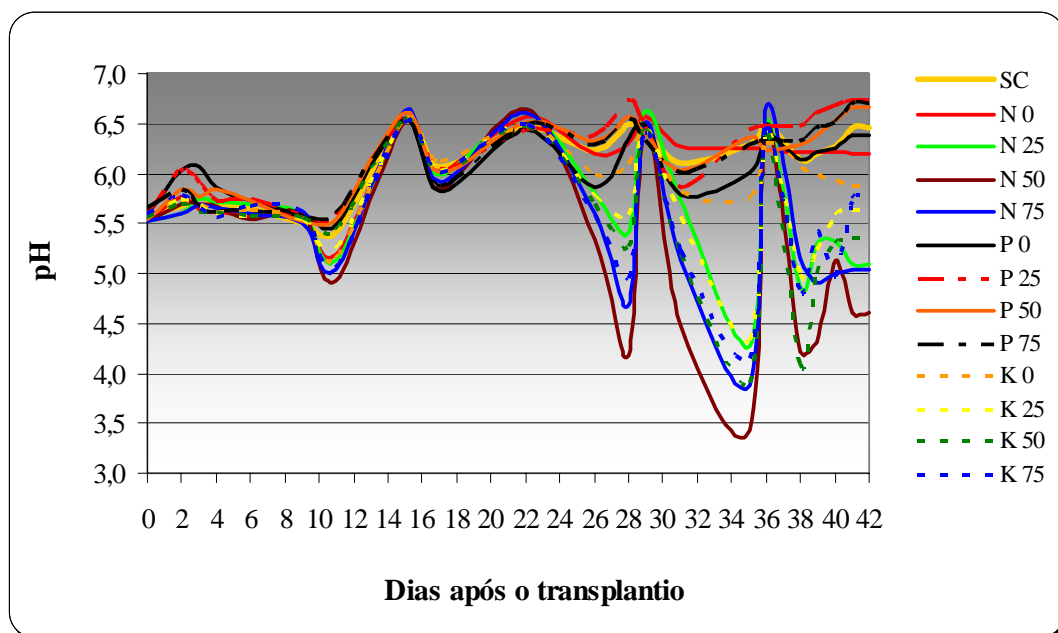


Figura 14. Variações dos valores de pH referente às diferentes concentrações de N, P e K em % da solução base durante o período de condução do experimento. Botucatu/SP, 2006.

A temperatura da solução nutritiva apresentou ampla faixa de variação durante o período experimental sendo registradas amplitudes de 20 a 30°C até os 28 DAT (correspondente ao período de avaliação 21 DAT) e de 15 a 29°C ao final do período avaliado. A condutividade elétrica foi mais instável apenas nas soluções a 75, 50 e 25% de N, sendo que em todas as condições nutricionais testadas a amplitude deste parâmetro constituiu-se de 1.200 a 2.600 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

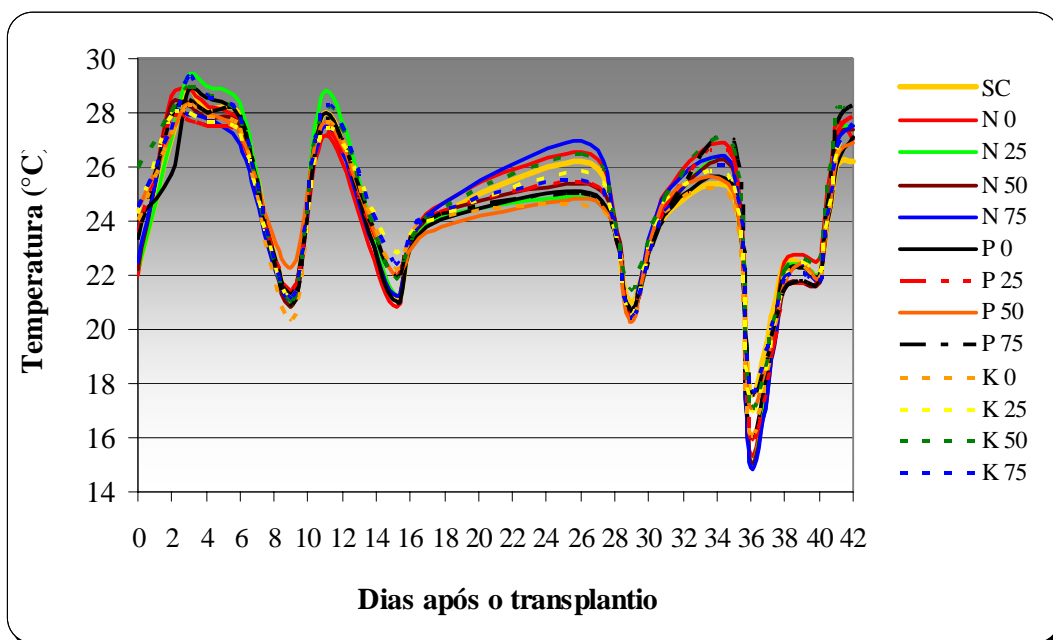


Figura 15. Variações dos valores de temperatura referente às diferentes concentrações de N, P e K em % da solução base durante o período de condução do experimento. Botucatu/SP, 2006.

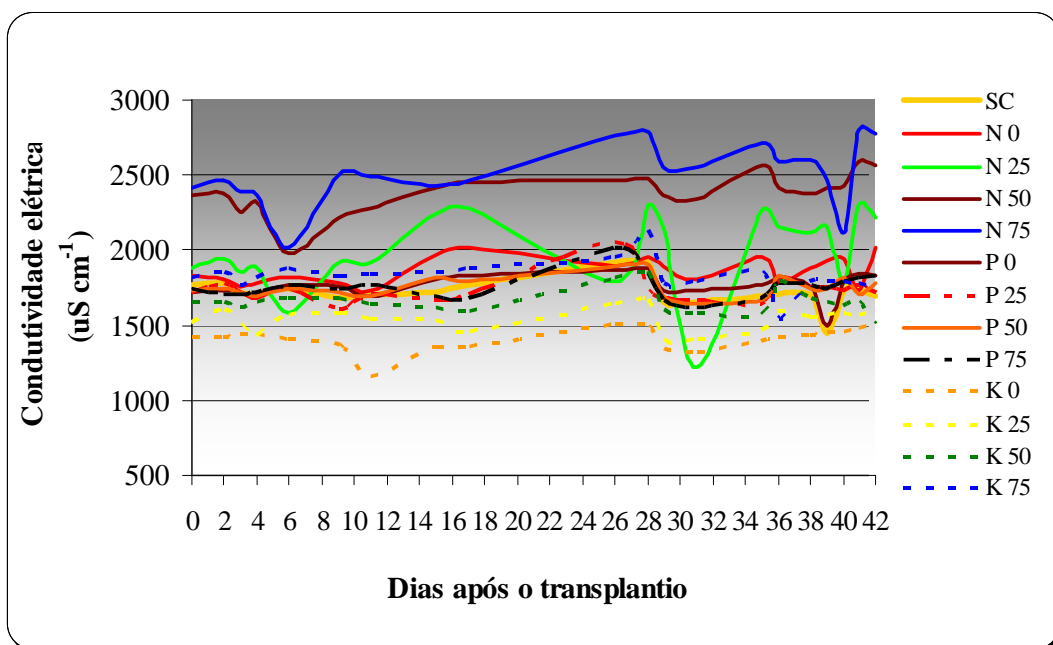


Figura 16. Variações dos valores de condutividade elétrica referente às diferentes concentrações de N, P e K em % da solução base durante o período de condução do experimento. Botucatu/SP, 2006.

As concentrações de nitrogênio nas soluções nutritivas testadas sob o efeito do crescimento das plantas durante o período de avaliação estão apresentadas na Tabela 22. Verificou-se na solução referente à ausência de N, que as concentrações oscilaram entre 0,48 a 3,46 mg L⁻¹. No entanto, percebe-se que as maiores concentrações observadas neste tratamento aos 21 e 28 DAT, talvez sejam devidas ao incremento de N em função da decomposição da biomassa submersa. Quanto às soluções de 25, 50 e 75% de N, observou-se uma redução na concentração de nitrogênio na solução nutritiva, a qual foi crescente com a idade da planta em função do aumento da demanda por este nutriente. Este comportamento de rápida absorção de nutrientes em função da maior demanda da planta foi menos expressivo nas soluções nutritivas mais concentradas (níveis 75 e 100% de N). As concentrações de nitrogênio sob o efeito do crescimento das plantas nas primeiras duas semanas foram semelhantes às inicialmente estabelecidas na Tabela 7 (0, 42, 84, 126 e 168 mg L⁻¹).

Tabela 22. Concentrações de nitrogênio total (mg L⁻¹) nas soluções dos níveis de nutrientes sob o efeito de diferentes épocas de crescimento de plantas de *Brachiaria subquadripara*. Botucatu/SP, 2006.

Épocas (DAT)	N				
	0%	25%	50%	75%	100%
	mg L ⁻¹				
7	0,48	43,68	74,82	134,33	165,47
14	0,66	40,33	85,49	130,63	167,33
21	3,46	50,61	84,79	131,85	181,55
28	2,60	12,03	66,02	110,40	146,47
35	1,33	13,56	6,03	96,76	170,50

Na Tabela 23, estão apresentadas as concentrações de fósforo sob o efeito de diferentes níveis de N, P e K. Ressalta-se que o nível 100% para os macronutrientes avaliados constituiu-se o mesmo tratamento, ou seja, refere-se à solução base que foi inserida na tabela de forma repetitiva para facilitar a comparação com os demais níveis dos respectivos nutrientes. A solução a 0% de P apresentou menor amplitude de variação (0,1 a 1,1 mg L⁻¹) em relação ao observado para o nitrogênio. As concentrações observadas para o fósforo em relação aos

períodos 7 a 14 DAT (exceto para 75% de P), estiveram acima das inicialmente estabelecidas (0, 6.2, 12.4, 18.6 e 24.8 mg L⁻¹). Contudo, nos períodos consecutivos verificou-se redução nas concentrações, provavelmente em função do crescimento da planta que aumentou a demanda por fósforo. De maneira geral, as concentrações de fósforo foram semelhantes em função dos níveis de N e K, porém, nota-se reduções significativas aos 35 DAT entre os níveis 25 a 100% destes nutrientes.

Tabela 23. Concentrações de fósforo (mg L⁻¹) nas soluções dos níveis de nutrientes sob o efeito de diferentes épocas de crescimento de plantas de *Brachiaria subquadripara*. Botucatu/SP, 2006.

Épocas (DAT)	N (%)				
	0	25	50	75	100
	mg L ⁻¹				
7	27,8	26,5	25,7	26,3	24,9
14	25,9	24,1	25,2	25,0	26,0
21	24,9	25,1	24,9	23,9	23,8
28	27,1	23,9	22,9	21,2	20,2
35	24,9	19,6	13,1	15,5	20,9
	P (%)				
7	0,0	11,9	24,7	20,4	24,9
14	0,1	9,4	23,9	17,7	26,0
21	0,2	8,6	19,6	15,9	23,8
28	1,1	2,8	13,9	14,5	20,2
35	0,6	0,6	1,0	7,6	20,9
	K (%)				
7	24,9	27,1	26,4	27,3	24,9
14	24,3	25,4	24,6	25,8	26,0
21	24,8	25,7	25,7	25,6	23,8
28	19,9	22,7	23,0	22,9	20,2
35	26,6	20,9	16,6	15,4	20,9

Quanto ao potássio (Tabela 24), é importante destacar que as repetições dos teores deste nutriente no nível 100% justifica-se conforme foi explicado para os teores de fósforo na Tabela 26. Observou-se na solução referente à ausência concentrações que variaram de 0,07 a 0,40 mg L⁻¹ entre 7 e 21 DAT. Este fato pode estar relacionado à qualidade da água e/ou à decomposição de material orgânico proveniente da biomassa submersa. Ressalta-se que as

concentrações de potássio observadas entre os intervalos de troca para os níveis de K estiveram bem abaixo das inicialmente definidas (0, 46.8, 93.6, 140.4, 187.2 mg L⁻¹). Assim, estes resultados permitem inferir a alta exigência em potássio pelas plantas de *B. subquadripara*, uma vez que, entre os níveis de N e P também observou-se concentrações reduzidas em aproximadamente duas vezes ao nível aplicado de potássio (187,2 mg L⁻¹).

Tabela 24. Concentração de potássio (mg L⁻¹) nas soluções dos níveis de nutrientes sob o efeito de diferentes épocas de crescimento de plantas de *Brachiaria subquadripara*. Botucatu/SP, 2006.

Épocas (DAT)	N (%)				
	0	25	50	75	100
	mg L ⁻¹				
7	67,2	67,1	65,7	66,9	43,1
14	66,1	60,6	61,4	61,9	61,7
21	66,9	66,8	64,5	63,2	71,9
28	67,9	52,8	53,5	52,6	52,4
35	44,4	59,0	27,0	28,7	45,5
	P (%)				
7	66,60	63,27	63,53	67,07	43,1
14	65,13	58,20	64,40	60,87	61,7
21	66,73	68,47	73,47	63,40	71,9
28	39,07	59,60	49,73	52,73	52,4
35	57,33	49,60	29,33	39,13	45,5
	K (%)				
7	0,07	16,27	30,47	49,27	43,1
14	0,40	11,87	27,93	48,33	61,7
21	0,20	14,13	25,80	46,07	71,9
28	0,00	0,13	16,13	34,73	52,4
35	0,00	3,60	11,00	27,33	45,5

6.3.2 Variáveis biométricas do estudo definitivo

6.3.2.1 Área foliar

Os resultados obtidos para a área foliar sob o efeito dos diferentes níveis de N, P e K encontram-se apresentados nas Figuras 17, 18 e 19. Verifica-se na Figura que as plantas apresentaram uma tendência exponencial crescente para a área foliar, independente dos níveis de nitrogênio aplicados. Contudo, a ausência de nitrogênio afetou de forma expressiva a área foliar, enquanto que apenas 25% da concentração deste nutriente na solução nutritiva propiciou incrementos de 177% após 14 DAT. Isto confirma a importância vital do nitrogênio na planta, que está relacionada à constituição de aminoácidos, proteínas, atividade enzimática, assim como síntese de clorofila.

Já, em concentrações maiores de N (25, 50, 75 e 100%) percebe-se que o aumento da área foliar foi progressivo em função do tempo e ocorreram diferenças significativas a partir dos 21 DAT. Os maiores incrementos na área foliar foram observados nas concentrações de 50, 75 e 25% de N (970, 802, 497 cm² planta⁻¹, respectivamente), as quais condicionaram aumentos correspondentes a 36, 28 e 19 vezes entre o período de 7 a 35 DAT. Em relação aos incrementos proporcionados pela adição de nitrogênio na solução, verificou-se que já aos 14 DAT houveram incrementos na área foliar maiores do que 100% em todos os níveis. A resposta da planta em termos de área foliar em função da adição de nitrogênio pode ser considerada mais expressiva aos 35 DAT, quando foram registrados incrementos de 2.249, 1.840, 1.104 e 579 % em relação à ausência de nitrogênio na solução, para os níveis 50, 75, 25 e 100%, respectivamente. Assim como a ausência de nitrogênio foi prejudicial para a área foliar, também em menores proporções, observou-se que no nível 100% as plantas apresentaram redução da área foliar quando comparadas às plantas cultivadas nos demais níveis de N.

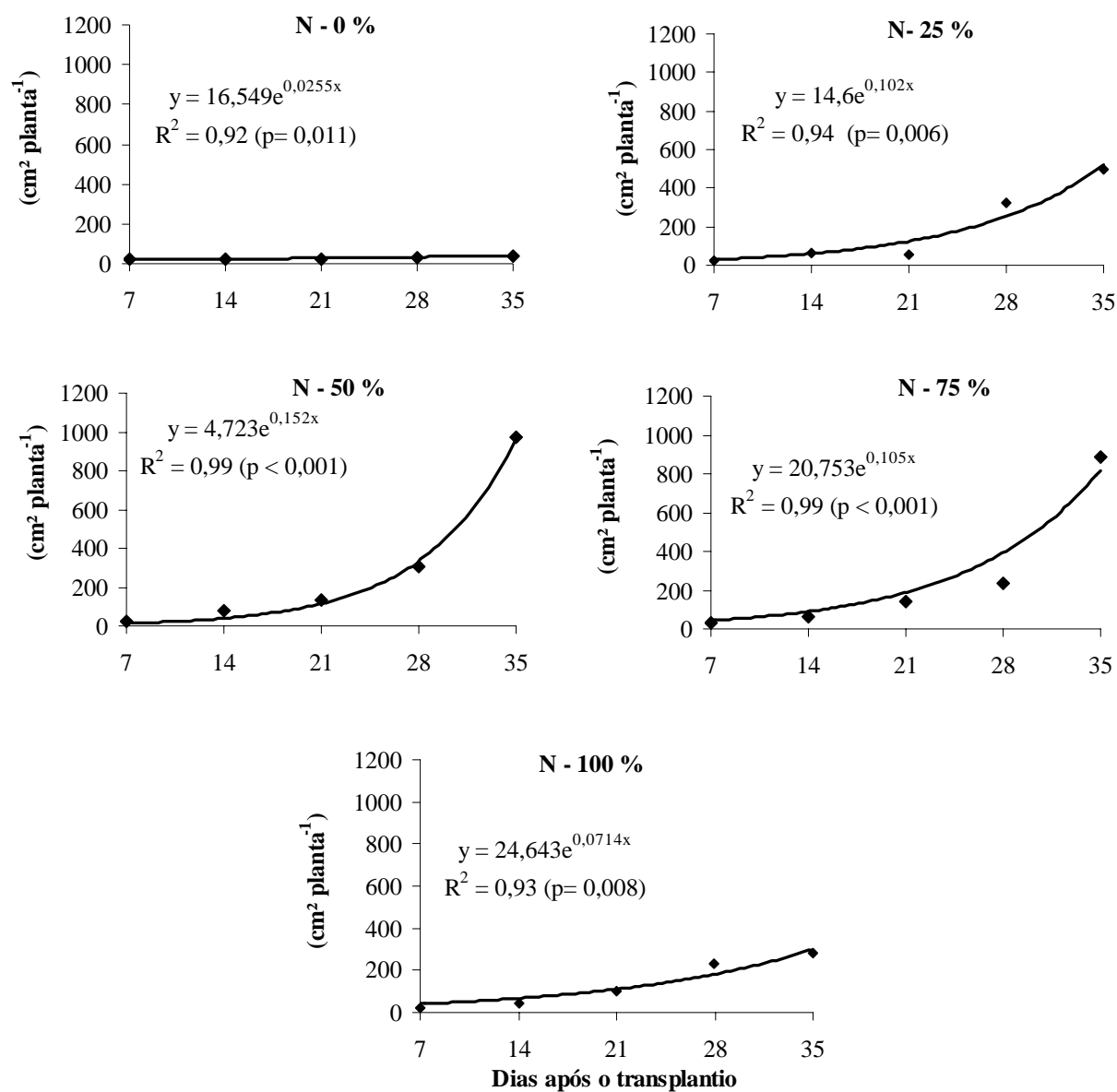


Figura 17. Efeito de diferentes concentrações de N (%) na solução nutritiva sobre a área foliar de *Brachiaria subquadriflora*. Botucatu/SP, 2006.

Quanto aos níveis de fósforo (Figura 18), observou-se comportamento semelhante aos resultados obtidos nos níveis de N. No entanto, a área foliar foi encontrada em menores proporções entre os níveis de P. As plantas submetidas à ausência de fósforo apresentaram incrementos de 85% durante o período de avaliação, enquanto na ausência de N obteve-se apenas 43%. As diferenças mais expressivas entre os níveis de fósforo ocorreram aos 35 DAT, quando os maiores valores de área foliar foram obtidos nos níveis 25, 50 e 75% (880, 646, 630 $\text{cm}^2 \text{planta}^{-1}$, respectivamente).

Já, entre os níveis de K (Figura 19) foram verificadas reduções na área foliar em relação à ausência na solução e às adições deste nutriente, sendo destacados os níveis 25 e 100% durante o período de 7 a 21 DAT, 50 % entre 7 a 14 DAT e 75% apenas aos 14 DAT. Ressalta-se que o aumento da área foliar quando submetida a 75% de K foi progressivo e lento nas três semanas iniciais do período de avaliação. Isto pode ser constatado nas plantas submetidas a 75% de K, que apresentaram acréscimos em menores proporções em relação aos demais níveis durante os períodos anteriores a 35 DAT quando propiciou maior área foliar (885 $\text{cm}^2 \text{planta}^{-1}$).

Na Figura 20, estão representadas as curvas de ajuste referente à área foliar sob o efeito dos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo e potássio durante o período avaliado. Visualiza-se que entre as adições de nitrogênio, exceto para o nível de 100%, o aumento da área foliar seguiu a tendência exponencial crescente com os níveis de N, enquanto para o fósforo a tendência exponencial observada foi decrescente com os níveis de P. No entanto, entre os níveis de potássio não foi observado este comportamento seqüencial em relação à concentração do nutriente, uma vez que, os maiores valores foram obtidos em 50, 75 e 25% de K.

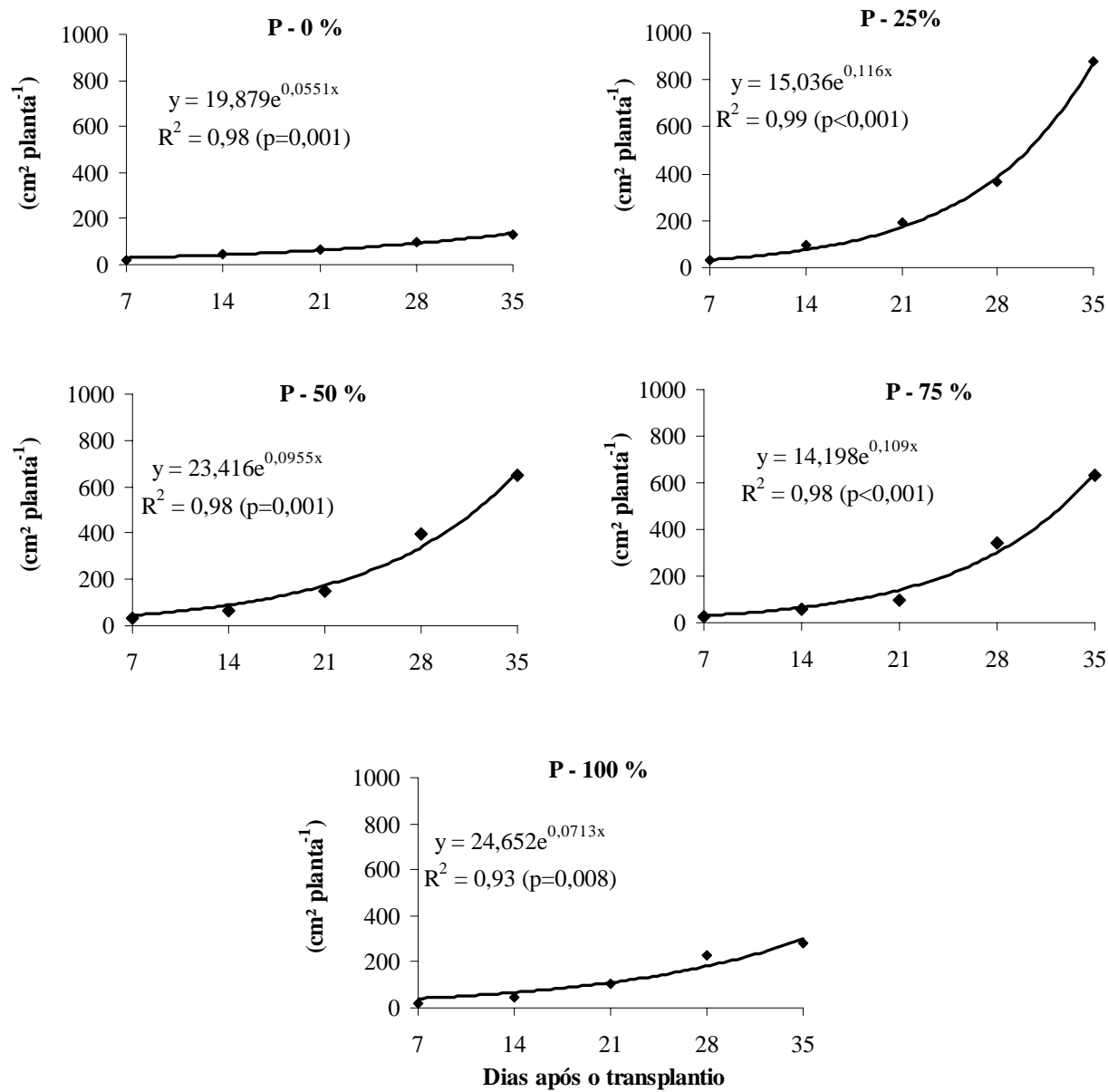


Figura 18. Efeito de diferentes concentrações de P (%) na solução nutritiva sobre a área foliar de *Brachiaria subquadrifera*. Botucatu/SP, 2006.

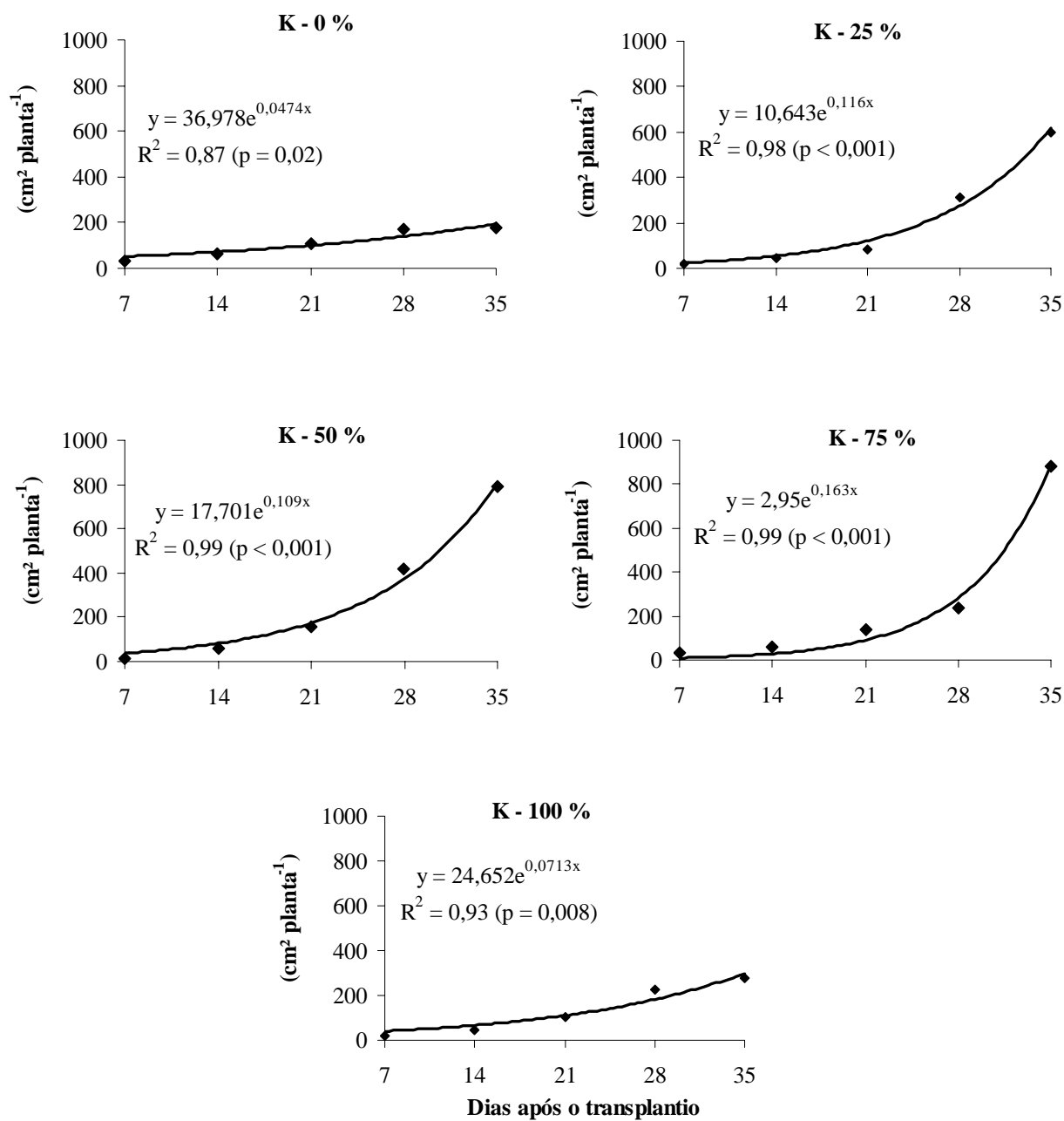


Figura 19. Efeito de diferentes concentrações de K (%) na solução nutritiva sobre a área foliar de *Brachiaria subquadripara*. Botucatu/SP, 2006.

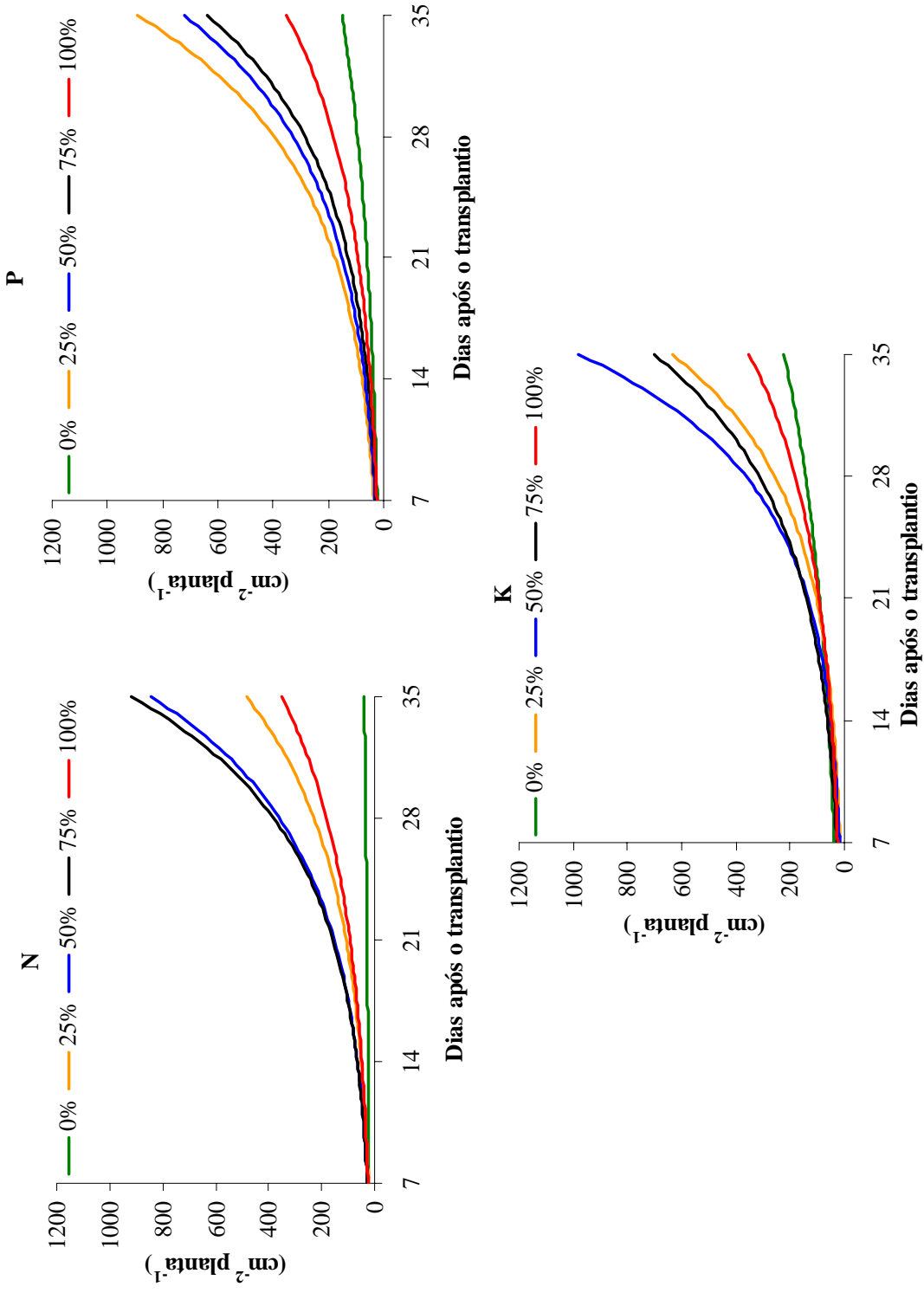


Figura 20. Curvas de ajuste do efeito de diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio em função do tempo sobre a área foliar de *Brachiaria subquadrifida* Botucatu/SP, 2006.

6.3.2.2 Alocação de Biomassa

O acúmulo de biomassa nos diferentes partes das plantas de *Brachiaria subquadripara* sob o efeito dos níveis de nitrogênio testados encontram-se apresentados na Figura 21. Verificou-se que as plantas cultivadas nas soluções referentes aos níveis de 25 a 100% de N, apresentaram comportamento semelhante em relação à maior alocação de biomassa nos colmos. Contudo, na ausência de N, a alocação de biomassa foi semelhante entre raízes e colmos até aos 21 DAT, sendo que a partir deste período houve maior carreamento de fotoassimilados para as raízes e os menores acúmulos foram observados nas folhas. Estes resultados corroboram os estudos realizados com outras espécies de plantas aquáticas. A exemplo, *Heteranthera reniformis* Ruiz & Pav. quando condicionada à ausência de N também direcionam maior alocação de biomassa para as raízes (Domingos et al., 2005). Barrat-Segretain (2001) ressaltou que o princípio da alocação de biomassa está condicionado aos recursos limitados do meio, os quais resultam em habilidades de competição como crescimento, sobrevivência e reprodução.

Assim, constata-se que em condições de maior concentração (nível 100%) de N, as plantas de *B. subquadripara* apresentaram tendência em alocar biomassa equivalente entre folhas e raízes.

Na Figura 22, estão apresentadas as curvas de ajuste referentes aos níveis de nitrogênio testados correspondentes ao acúmulo de biomassa em diferentes partes da planta. Nota-se que o comportamento das plantas quanto à biomassa de folhas e colmos foram semelhantes entre os níveis de nitrogênio. O acúmulo de biomassa nestas partes foi crescente com a concentração de N até o nível 75%, o qual condicionou resultados semelhantes aos obtidos na concentração de 50%. Este fato, também pode ser observado na alocação de biomassa de raízes tanto entre os níveis de 50 e 75% quanto em relação aos níveis de 25 e 100%.

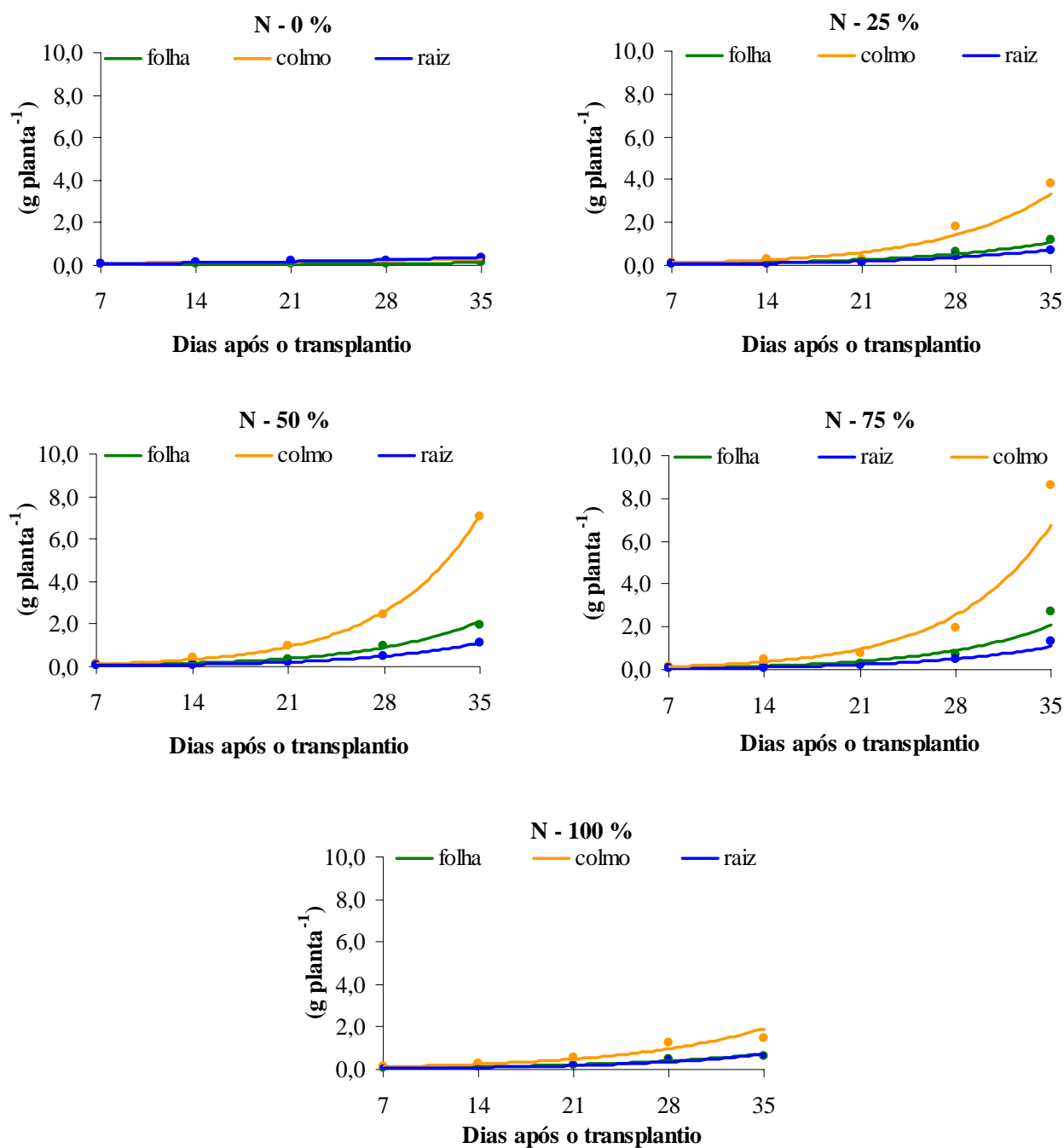


Figura 21. Efeito de diferentes níveis de N (%) na solução nutritiva sobre o acúmulo de biomassa nas diferentes partes da planta de *Brachiaria subquadriflora* Botucatu/SP, 2006.

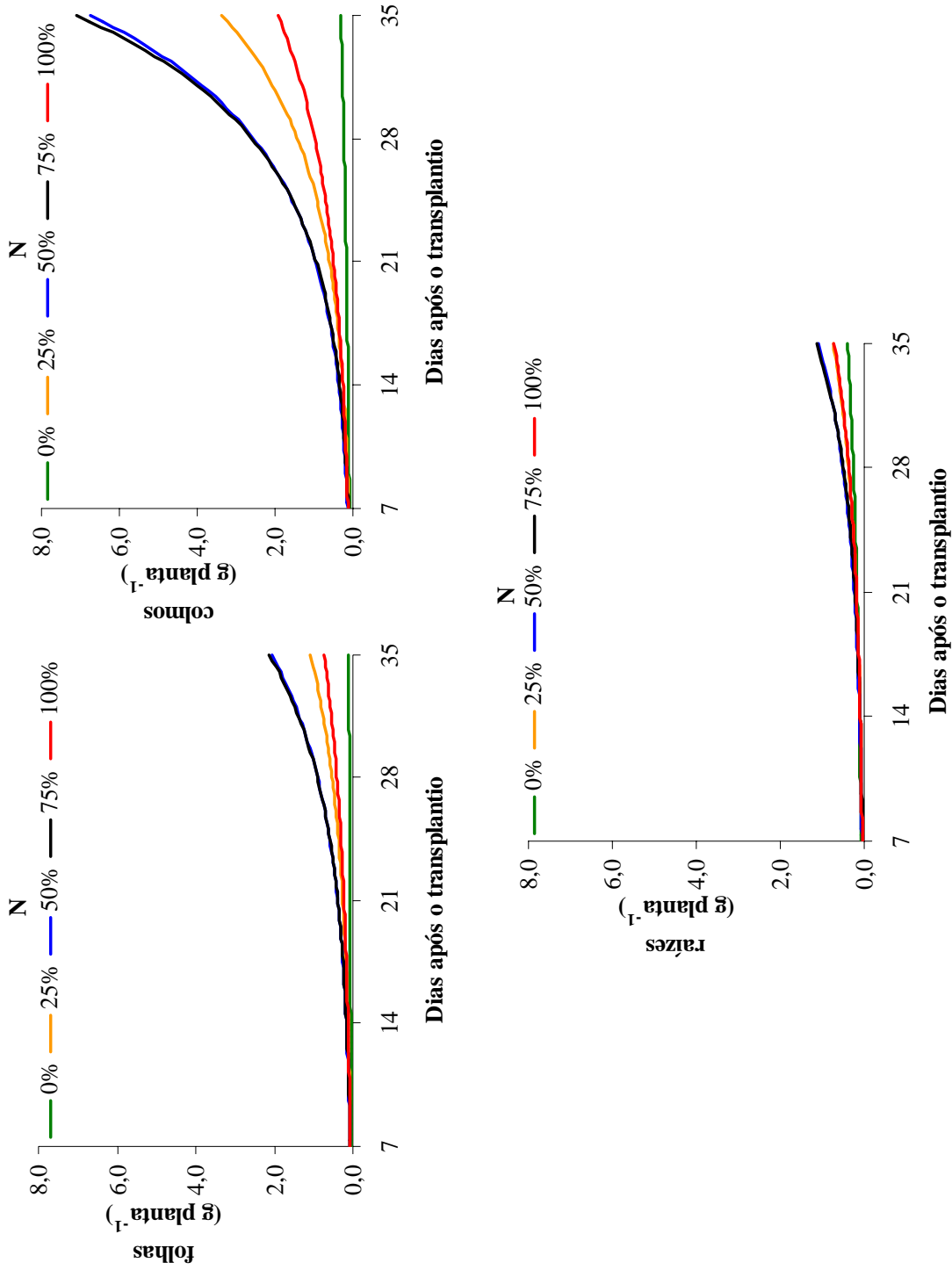


Figura 22. Curvas de ajuste de diferentes níveis de nitrogênio em função do tempo sobre a biomassa nas diferentes partes da planta de *Brachiaria subquadriflora* Botucatu/SP, 2006.

Quanto aos níveis de fósforo, também observou-se maior acúmulo de biomassa nos colmos, sendo que na ausência deste nutriente as diferenças na alocação de fotoassimilados foram mais expressivas a partir da primeira semana, enquanto nos demais níveis de P após a segunda semana (Figura 23). As plantas cultivadas na ausência de fósforo apresentaram tendência a um maior acúmulo de biomassa nas raízes do que nas folhas. Entretanto, nota-se que a maior produção de biomassa nos colmos em relação às outras partes da planta foi observada em condições de deficiência de P. Isto, provavelmente pode ser atribuído à presença de N que influenciou na partição de fotoassimilados. Dingkuhn & Kropff (1996) citados por Mooney et al., 1991 realizaram estudos relacionados à alocação de biomassa em arroz e relataram que o particionamento de fotoassimilados está diretamente associado com a absorção e particionamento de N, devido sua função vital na planta pela constituição de aminoácidos, proteínas, participação na atividade enzimática, assim como síntese de clorofila (Malavolta, 1997).

Na Figura 24, estão apresentadas as curvas de ajuste referentes aos níveis de fósforo testados, correspondentes às diferentes partes da planta. Registra-se que o acúmulo de biomassa entre os níveis de fósforo foi decrescente com o aumento da concentração do nutriente na solução, exceto para a ausência de P. Quanto à biomassa de raízes, ocorreram resultados semelhantes entre os níveis 25, 50 e 75%, enquanto para o nível mais concentrado observaram-se menores acúmulos do que na ausência de P. Esse fato permite ressaltar o efeito prejudicial no crescimento das raízes em condições mais concentradas de macronutrientes.

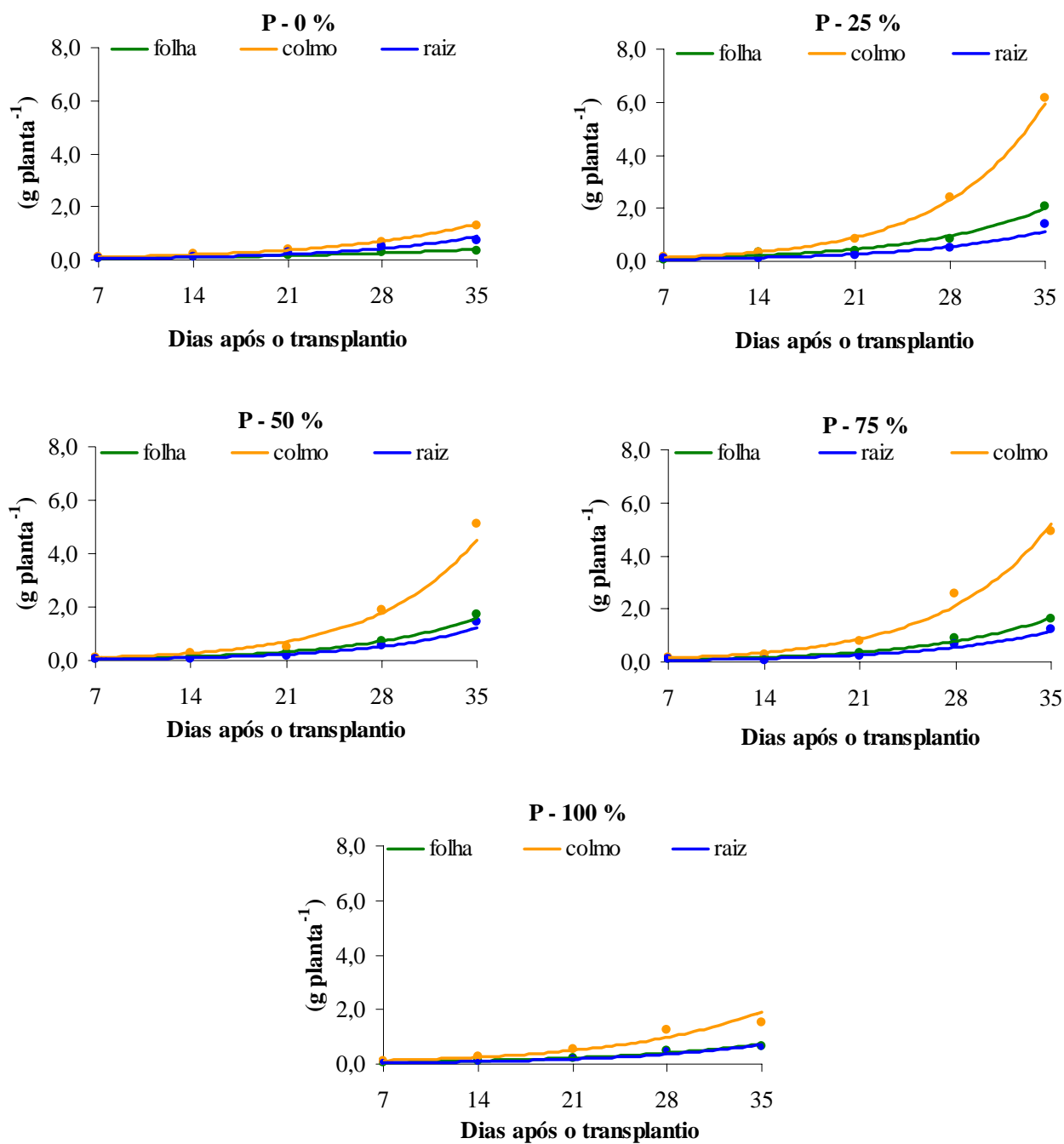


Figura 23. Efeito de diferentes níveis de P (%) na solução nutritiva sobre o acúmulo de biomassa nas diferentes partes da planta de *Brachiaria subquadripara* Botucatu/SP, 2006.

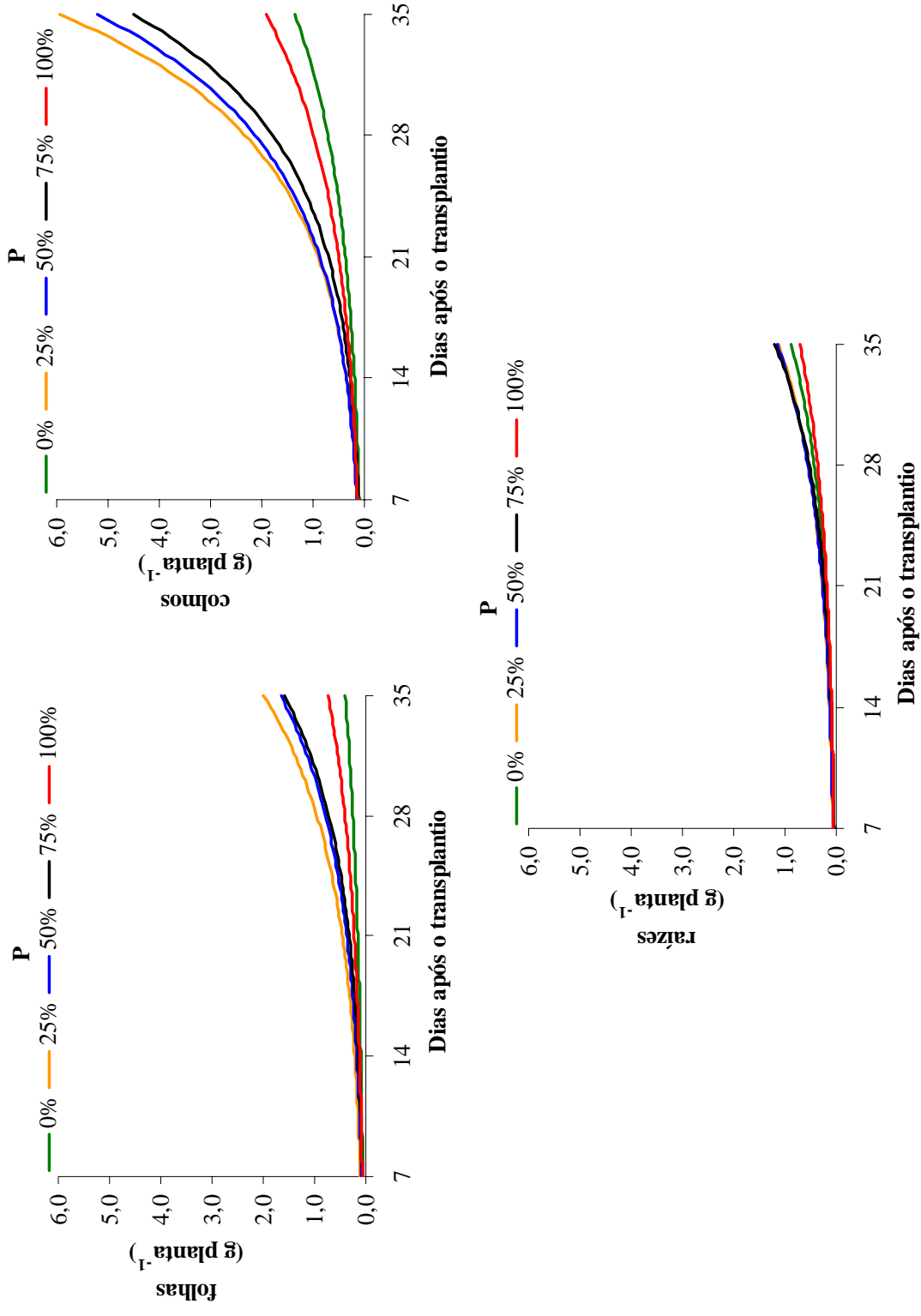


Figura 24. Curvas de ajuste de diferentes níveis de fósforo em função do tempo sobre a biomassa nas diferentes partes da planta de *Brachiaria subquadriflora* Botucatu/SP, 2006.

As plantas submetidas aos diferentes níveis de potássio apresentaram acúmulos de biomassa crescentes ao longo do período de desenvolvimento avaliado (Figura 25). Na ausência de K houve tendência em aumentar a alocação de biomassa nos colmos em relação às folhas e raízes. Entretanto, com a adição de 25% de potássio na solução propiciou o aumento da produção de folhas já a partir dos 14 DAT. A alocação de biomassa nas raízes apresentou tendência a um maior acúmulo em relação aos colmos na semana seguinte. Observou-se que as plantas cultivadas nos níveis 50 e 75% de K apresentaram padrões de distribuição de biomassa semelhantes, porém em maior proporção na maior concentração. Na solução com 100% da concentração dos macronutrientes, verificaram-se maiores acúmulos nos colmos, enquanto entre folhas e raízes a proporção foi equivalente.

Na Figura 26, estão apresentadas as curvas de ajuste da biomassa nas diferentes partes da planta em função dos níveis de potássio testados. Constatou-se que a partir dos 21 DAT a biomassa de folhas apresentou maior acúmulo em ordem decrescente em relação ao incremento da concentração de K na solução, exceto na ausência deste nutriente. Para a biomassa de colmos, nota-se também acúmulos decrescentes com o aumento da concentração de K, com exceção das soluções de 0% e 25%. Este fato permite inferir que a ausência de potássio afetou significativamente a produção de biomassa alocada nos colmos, sendo os níveis de 50 e 75% mais favoráveis ao desenvolvimento de colmos.

Quanto à biomassa de raízes, houve tendência a uma redução do acúmulo de biomassa com o aumento da concentração de potássio, exceto na ausência de K. Este resultado permite inferir que a presença de potássio no ambiente poderá induzir à maior produção de biomassa na parte emersa em função da redução da biomassa de raízes. Assim, o excesso de produção de biomassa na parte emersa em função da presença de K poderá originar sérios problemas à qualidade da água devido à grande quantidade de material orgânico a ser decomposto.

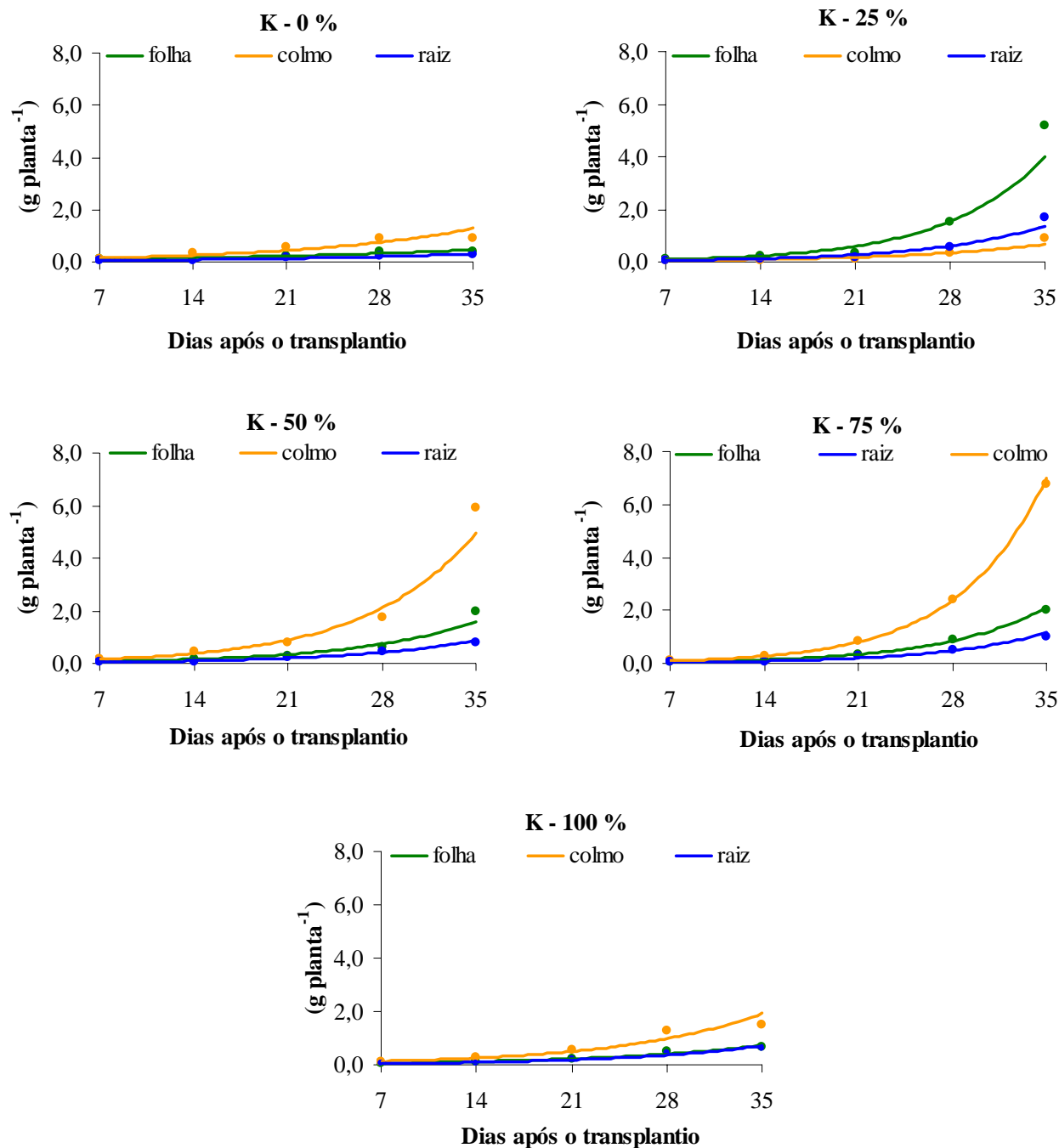


Figura 25. Efeito de diferentes níveis de K (%) na solução nutritiva sobre o acúmulo de biomassa nas diferentes partes da planta de *Brachiaria subquadriflora* Botucatu/SP, 2006.

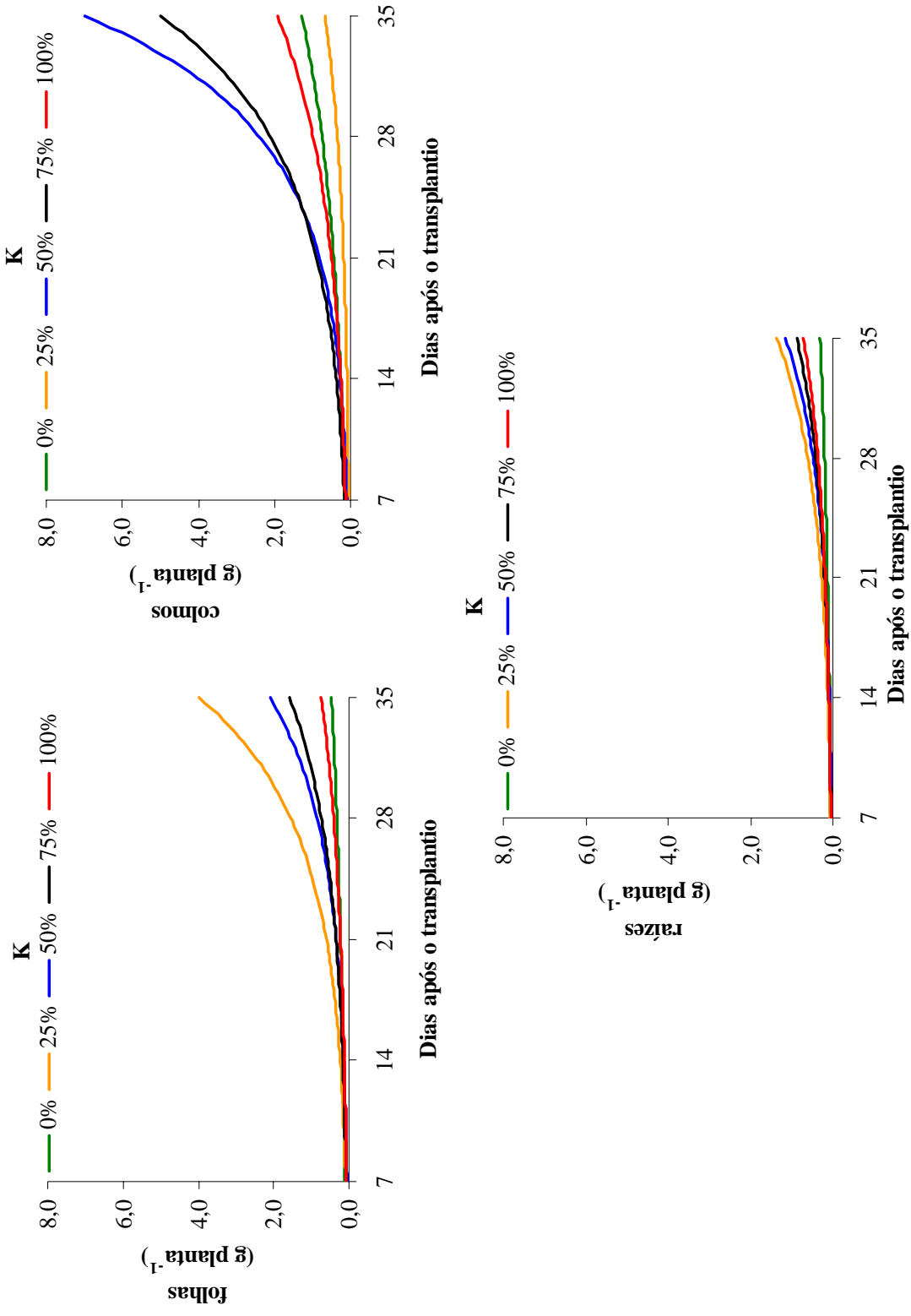


Figura 26. Curvas de ajuste de diferentes níveis de potássio em função do tempo sobre a biomassa nas diferentes partes da planta de *Brachiaria subquadrifera* Botucatu/SP, 2006.

Nas Tabelas 25, 26 e 27, encontram-se apresentadas as equações de regressão correspondentes às diferentes partes da planta em função dos diferentes níveis de N, P e K. Nota-se que todas as equações foram significativas, com alto nível de confiabilidade expressos pelos valores dos coeficientes de determinação (R^2) e níveis de probabilidade.

Tabela 25. Equações de regressão referente ao acúmulo de biomassa nos diferentes órgãos de plantas de *Brachiaria subquadripara* sob o efeito de diferentes níveis de nitrogênio (y) em função do tempo (x). Botucatu/SP, 2006.

Biomassa	N	Equação	R^2	p
folha	0%	$y = 0,0322 e^{0,0373 x}$	0,94	0,006
	25%	$y = 0,0256 e^{0,11 x}$	0,98	0,002
	50%	$y = 0,0057 e^{0,176 x}$	0,99	< 0,001
	75%	$y = 0,0438 e^{0,109 x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 0,0561 e^{0,0711 x}$	0,94	0,006
colmo	0%	$y = 0,0534 e^{0,053 x}$	0,95	0,004
	25%	$y = 0,0408 e^{0,13x}$	0,98	< 0,001
	50%	$y = 0,0078 e^{0,2 x}$	0,99	< 0,001
	75%	$y = 0,0414 e^{0,147 x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 0,137 e^{0,0705 x}$	0,92	0,011
raíz	0%	$y = 0,0456 e^{0,0801 x}$	0,97	0,002
	25%	$y = 0,0123 e^{0,136x}$	0,99	< 0,001
	50%	$y = 0,0302 e^{0,107 x}$	0,98	< 0,001
	75%	$y = 0,0106 e^{0,14 x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 0,0444 e^{0,0763 x}$	0,99	< 0,001

Tabela 26. Equações de regressão referente ao acúmulo de biomassa nos diferentes órgãos de plantas de *Brachiaria subquadripara* sob o efeito de diferentes níveis de fósforo (y) em função do tempo (x). Botucatu/SP, 2006.

Biomassa	P	Equação	R²	p
folha	0%	$y = 0,0504 e^{0,057 x}$	0,98	< 0,001
	25%	$y = 0,0392 e^{0,113 x}$	0,99	< 0,001
	50%	$y = 0,0493 e^{0,1 x}$	0,98	< 0,001
	75%	$y = 0,0226 e^{0,124x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 0,0561 e^{0,0711 x}$	0,94	0,006
colmo	0%	$y = 0,0665 e^{0,0841 x}$	0,99	< 0,001
	25%	$y = 0,0495 e^{0,138x}$	0,99	< 0,001
	50%	$y = 0,0931 e^{0,114 x}$	0,99	< 0,001
	75%	$y = 0,0284 e^{0,148 x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 0,137 e^{0,0705 x}$	0,92	0,011
raíz	0%	$y = 0,0562 e^{0,0543 x}$	0,96	0,004
	25%	$y = 0,0303 e^{0,0902x}$	0,98	< 0,001
	50%	$y = 0,0087 e^{0,144 x}$	0,98	< 0,001
	75%	$y = 0,0192 e^{0,117 x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 0,0444 e^{0,0763 x}$	0,99	< 0,001

Tabela 27. Equações de regressão referente ao acúmulo de biomassa nos diferentes órgãos de plantas de *Brachiaria subquadriflora* sob o efeito de diferentes níveis de potássio (y) em função do tempo (x). Botucatu/SP, 2006.

Biomassa	K	Equação	R ²	p
folha	0%	$y = 0,101 e^{0,0407 x}$	0,85	0,025
	25%	$y = 0,0103 e^{0,178 x}$	0,99	< 0,001
	50%	$y = 0,03 e^{0,12 x}$	0,99	< 0,001
	75%	$y = 0,0102 e^{0,15x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 0,0561 e^{0,0711 x}$	0,94	0,006
colmo	0%	$y = 0,18 e^{0,0497 x}$	0,85	0,026
	25%	$y = 0,0101 e^{0,128x}$	0,99	< 0,001
	50%	$y = 0,0366 e^{0,149 x}$	0,99	< 0,001
	75%	$y = 0,0224 e^{0,159 x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 0,137 e^{0,0705 x}$	0,92	0,011
raíz	0%	$y = 0,0418e^{0,0557 x}$	0,97	0,002
	25%	$y = 0,0097 e^{0,147x}$	0,99	< 0,001
	50%	$y = 0,0286e^{0,102 x}$	0,99	< 0,001
	75%	$y = 0,0294 e^{0,095 x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 0,0444 e^{0,0763 x}$	0,99	< 0,001

A distribuição da biomassa em porcentagem sob o efeito dos diferentes níveis de N em função do tempo está apresentada na Figura 27. As plantas submetidas à ausência de N, apresentaram em uma proporção maior de biomassa em raízes em relação aos colmos até a quarta semana (28 DAT). A ausência de N afetou significativamente a contribuição das folhas na biomassa total e apresentou-se constante em função do tempo com participação média de 17%.

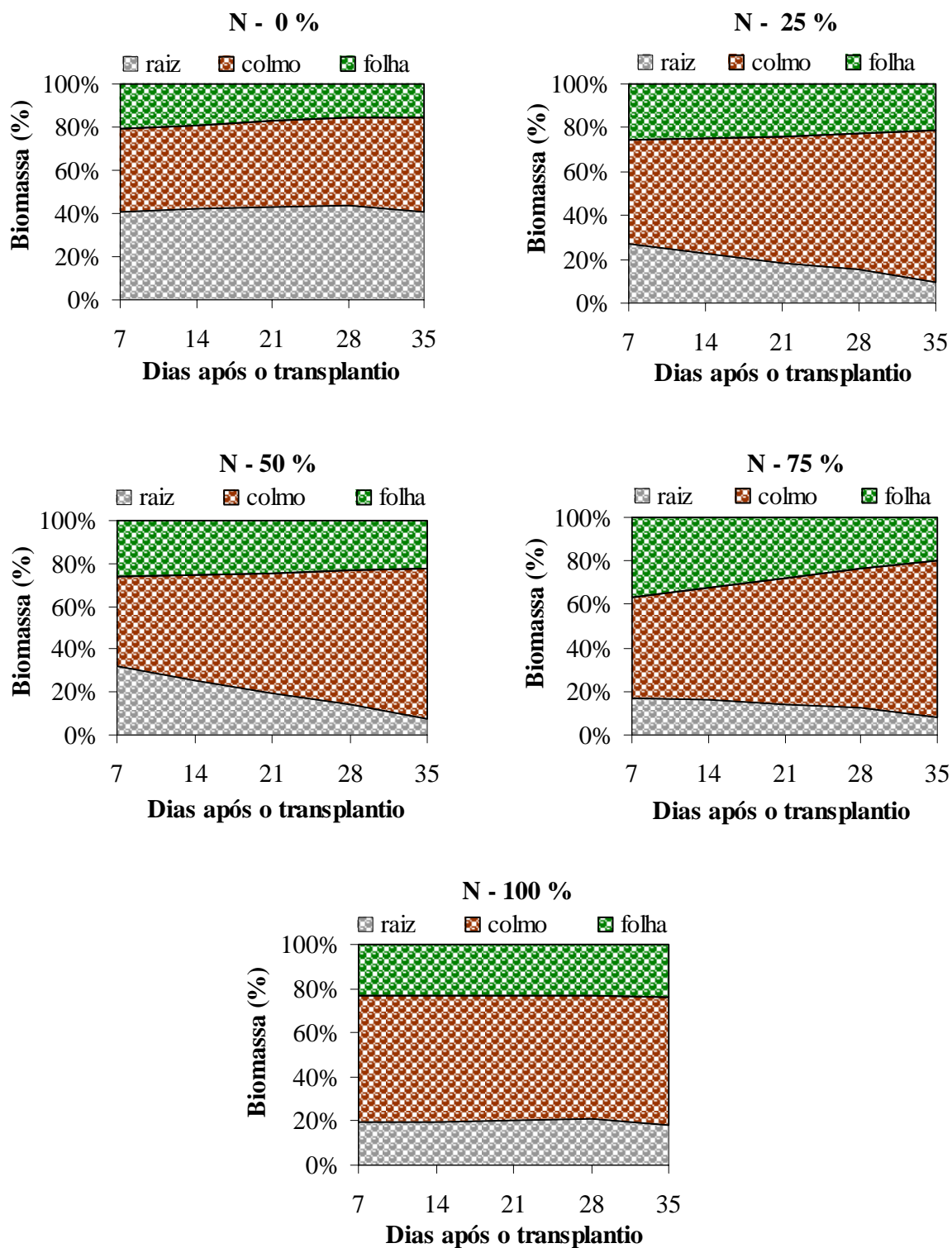


Figura 27. Efeito de diferentes níveis de N em função do tempo sobre a porcentagem de alocação da biomassa seca de *Brachiaria subquadripara*. Botucatu/SP, 2006.

Dickson & Isebrands (1991) relataram que as plantas respondem ao estresse pela alteração na assimilação e no particionamento de carbono e outros recursos dentro da planta, sendo que as folhas são estruturas vegetais primariamente afetadas por modificações ambientais. A exemplo, o decréscimo no suprimento de N pode afetar o equilíbrio funcional entre parte emersa e a raiz. Assim, estes efeitos negativos podem ser explicados pela produção de biomassa, particionamento de carbono associada à absorção e uso do nitrogênio. Portanto, estas interações carbono-nitrogênio são portanto modificadas pelo estresse relativo na parte emersa ou sistema radicular. Agren & Ingestad (1987) ressaltaram que as modificações na fotossíntese e particionamento de carbono ilustram a resposta funcional da planta em relação a ambientes com baixo suprimento de N, uma vez que a fotossíntese esta diretamente relacionada com teor de N na folha.

Percebe-se no presente estudo que o aumento da concentração de N entre os diferentes níveis testados, não causou variações na biomassa de folhas em função do desenvolvimento da planta, exceto para o nível 75% de N, no qual foram observados os maiores valores na primeira semana e redução decrescente até ao final do período avaliado. Ressalta-se que a tendência crescente da proporção de colmos sempre esta associada a reduções na biomassa de folhas e/ou raízes. Este comportamento pode ser observado nas plantas cultivadas entre os níveis 25 e 50 % de N, que propiciaram os maiores valores em termos de conversão de recursos em biomassa de colmos sempre associada a uma redução drástica da biomassa de raízes.

Na solução completa, a contribuição das diversas partes da planta foi constante até aos 28 DAT, quando iniciou uma fase caracterizada pela tendência ao aumento da proporção de colmos, redução na produção de raízes e poucos acréscimos na biomassa de folhas.

As modificações no particionamento da biomassa em relação às condições de deficiência de fósforo revelaram uma relação colmo/raiz de aproximadamente 2:1 enquanto na ausência de N registrou-se 1:1 (Figura 28). O investimento da planta, nestes casos específicos, provavelmente priorizou a produção de biomassa de menor custo energético, uma vez que, para a produção de biomassa fotossintetizante seria necessário maior disponibilidade de N e P em função do aumento da demanda para a estruturação do aparato fotossintético.

O incremento de fósforo na solução resultou em poucos acréscimos na biomassa de raízes na primeira semana de cultivo e permaneceu constante durante o período avaliado.

Ressalta-se que as plantas submetidas à ausência de P apresentaram maior alocação de biomassa nas raízes quando comparados aos resultados obtidos nos demais níveis de fósforo. Quanto à contribuição das folhas na biomassa total, verificou-se que a adição de 25% e 75% de fósforo condicionou acréscimos de 6,6 e 5,8%, respectivamente, em relação à ausência de P. No entanto, a maior relação colmo/folha (aproximadamente 3:1) foi observada na solução a 50% de P.

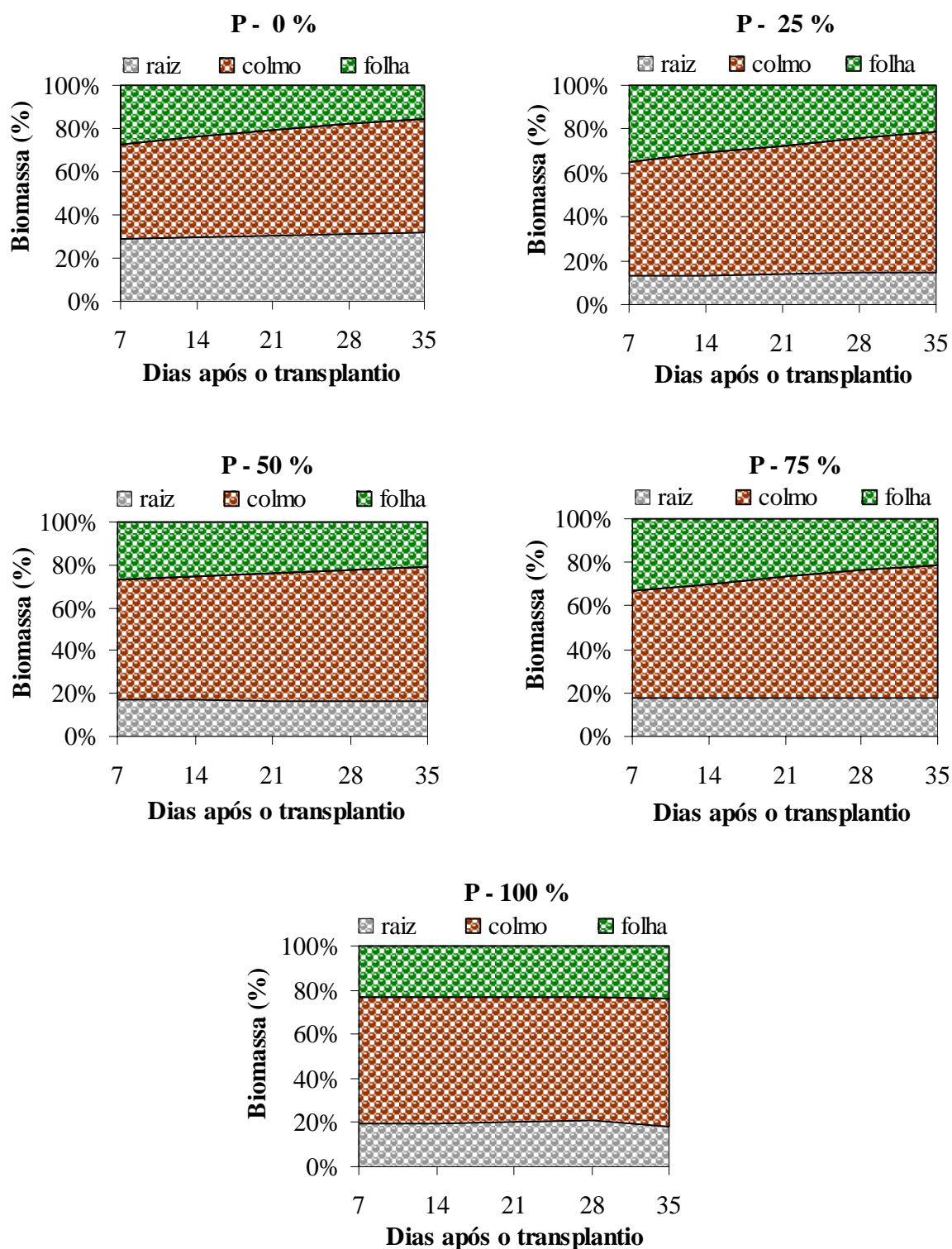


Figura 28. Efeito de diferentes níveis de P em função do tempo sobre a porcentagem de alocação da biomassa seca de *Brachiaria subquadriflora*. Botucatu/SP, 2006.

Em condições de deficiência de potássio, as plantas de *B. subquadripara* apresentaram tendência a manter constante a proporção de colmos e raízes, porém decresceu a produção de folhas com a idade da planta (Figura 29). No entanto, em tais condições nutricionais, verifica-se que a relação colmo/raiz pode variar em função da idade da planta, inicialmente de 4:1 a 3,4:1 enquanto para a relação colmo/folha pode apresentar uma amplitude de 1,8: 1 a 2,4:1. A deficiência de potássio no ambiente de crescimento resulta normalmente em alterações no potencial osmótico dos compartimentos das células, o que afeta a absorção de ânions como nitrato e fosfato, bem como prejudica a ativação de enzimas, síntese de proteínas e fotossíntese. Em consequência, atrasa o crescimento e a redistribuição de K intensificam-se das folhas mais velhas para os colmos e, sobre severa deficiência estes órgãos apresentam clorose e necrose, dependendo da intensidade de luz na qual as folhas estão expostas (Marschner, 1986).

Assim, este padrão de alocação de biomassa observado nesta espécie foi caracterizado pelo predomínio dos colmos e algumas variações de respostas quanto às folhas e raízes. Contudo, apenas a adição de 25% de potássio propiciou modificações neste comportamento padrão de alocação de biomassa, o qual foi observado tanto entre os níveis de N e P quanto nas outras concentrações de K avaliadas. As diferenças observadas na solução a 25% de potássio foram evidentes quanto ao maior investimento em folhas do que raízes e colmos, o que resultou em variações nas relações folha/colmo correspondente a 1,4:1 a 5,9:1 durante o período de desenvolvimento da planta. Já as relações folha/raiz registradas nestas condições apresentou amplitude de 1,3:1 a 3:1

A plasticidade fenotípica constatada em *B. subquadripara* apresentou ampla faixa de variações morfológicas em função das diferentes condições nutricionais testadas, o que permite inferir o elevado potencial de colonização e adaptação da espécie mesmo em condições de estresse nutricional.

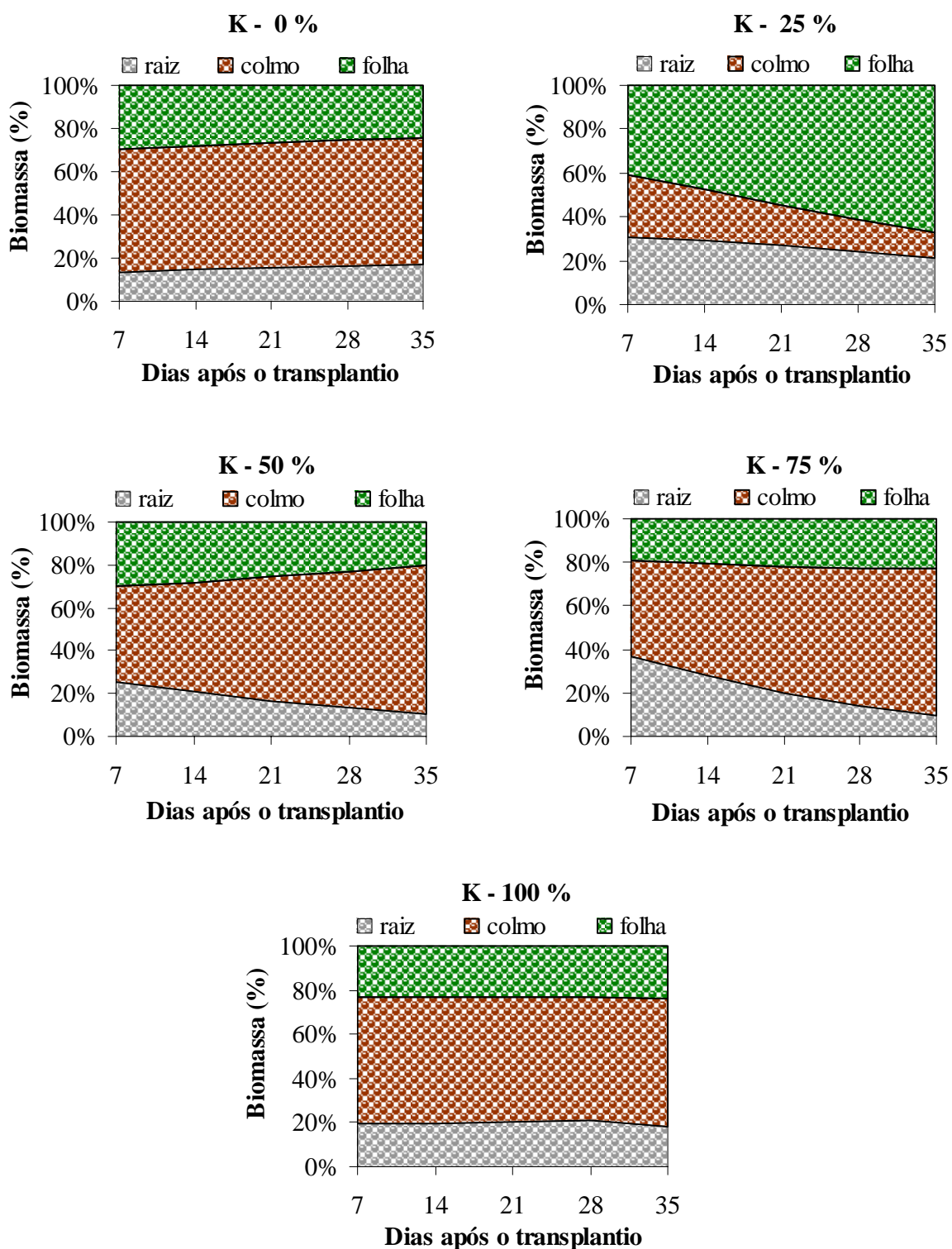


Figura 29. Efeito de diferentes níveis de K em função do tempo sobre a porcentagem de alocação da biomassa seca de *Brachiaria subquadripara*. Botucatu/SP, 2006.

A produção de biomassa total expressa pela somatória da parte emersa e raízes das plantas de *B. subquadripara* submetidas aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo e potássio testados está apresentada nas Figuras 30, 31 e 32.

A variação da biomassa seca total entre os níveis de nitrogênio foi mais expressiva a partir dos 21 DAT, sendo obtidos os maiores acúmulos na planta entre os níveis de 50 e 75%. A produção de biomassa total observada na ausência de N aos 35 DAT foi 93,2% mais baixa em relação ao nível 75% de N, o qual propiciou condições nutricionais mais favoráveis ao acúmulo de biomassa na planta. No entanto, não foram observadas diferenças significativas entre os níveis de 50 e 75%. Verificou-se que a partir dos 21 DAT, a adição de 25% de nitrogênio contribuiu positivamente para o desenvolvimento das plantas, com incrementos no acúmulo de biomassa correspondente a 108 % em relação aos observados na solução completa (nível 100% de N) ao final do período de avaliação.

Batista (2002) estudou o crescimento de *B. brizantha* cv. Marandu em função de combinações de doses de nitrogênio e enxofre. A pesquisadora concluiu com base na superfície de resposta obtida pelo modelo polinomial, que a máxima produção de biomassa seca ocorreria na dose de 510,8 mg L⁻¹ (excedendo a máxima testada) associada à dose de enxofre de 210 mg L⁻¹ (também mais elevada que os 80 mg L⁻¹ utilizados). Os resultados ora obtidos foram maiores nos níveis de 50 e 75% de N, os quais corresponderam a 84 e 126 mg L⁻¹ de N associados a 38,4 mg L⁻¹ de enxofre na solução. Portanto, estas informações refletem que a concentração de enxofre utilizada no presente estudo foi 5,4 vezes menor em relação à concentração testada no trabalho citado, o que talvez possa ter influenciado na redução da produção de biomassa total no nível 100% de N (168 mg L⁻¹). Entretanto, as taxas de absorção são muito variáveis entre espécies do mesmo gênero e até mesmo entre variedades. Porém, ressalta-se a importância na avaliação do efeito de concentrações de enxofre e nitrogênio em diferentes combinações em estudos futuros.

Braga (2001) relatou que em *Panicum maximum* Jacq. a relação N:S respondeu de forma quadrática à aplicação de nitrogênio. O aumento da concentração de nitrogênio resultou em alta relação N:S devido à maior concentração de nitrogênio na planta nesta condição e também à redução da concentração de enxofre (por diluição).

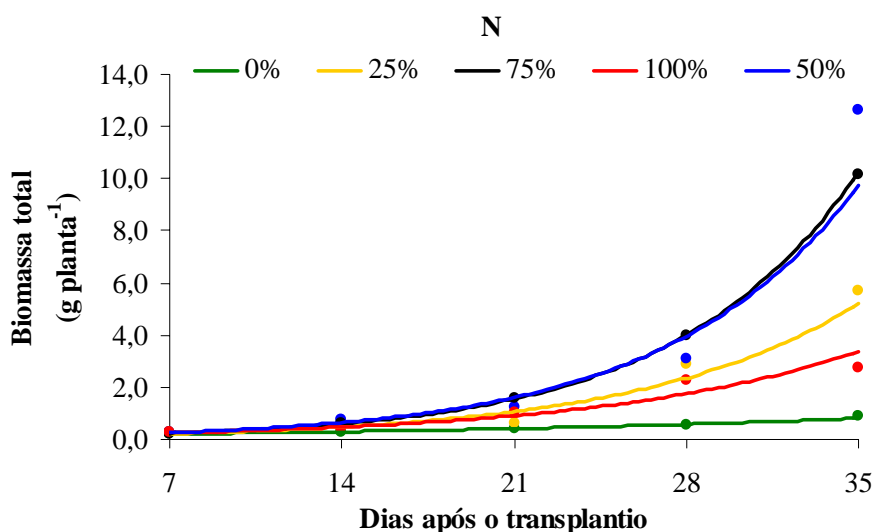


Figura 30. Efeito de diferentes níveis de N (%) na solução nutritiva sobre a biomassa seca total das plantas de *Brachiaria subquadripara* Botucatu/SP, 2006.

Quanto aos níveis de fósforo (Figura 31) observou-se que, a partir dos 21 DAT, a biomassa total das plantas de *B. subquadripara* foi crescente com a redução dos níveis de P na solução, exceto para a ausência deste nutriente. Ressalta-se que a adição de 25% de fósforo proporcionou condições nutricionais mais favoráveis ao acúmulo de biomassa na planta. Assim, as plantas cultivadas nestas condições apresentaram incrementos correspondentes a 77% em relação à ausência de P na média entre os períodos de 7 a 21 DAT, enquanto resultados mais expressivos foram observados entre 28 e 35 DAT quando obtiveram 157,4 e 309,8% de incrementos na biomassa total, respectivamente. As soluções referentes aos níveis 50 e 75% apresentaram acúmulos semelhantes aos observados em 25% de P. No entanto, quanto ao nível 100%, nota-se que a biomassa total foi reduzida drasticamente.

As soluções referentes a 50 e 75% de potássio (Figura 32) propiciaram maiores valores de biomassa seca total até a 3ª semana de cultivo, sendo registrados nesta avaliação incrementos de 157 e 113% em relação à 2ª semana, respectivamente. No entanto, ao final das avaliações observou-se que as plantas cultivadas a 50% de K também obtiveram incrementos de 157%, enquanto na solução a 75% de K propiciou 211,34% de aumento na biomassa total em relação à 4ª semana. Estes resultados permitem inferir que em ambientes com maior

concentração de potássio pode ocorrer uma tendência a aumentar a fase de crescimento mais lento com acúmulos de biomassa progressivos, a exemplo das soluções com 75% de K a partir da 4ª semana e a 100 % a partir da 3ª semana.

As plantas cultivadas na ausência de potássio, entre o período inicial e final de avaliação, apresentaram tendência a obter acúmulos de biomassa total correspondente a 525%. Enquanto para os demais níveis em ordem crescente com a adição de K na solução foram registrados 2.850, 5.144, 2.852 e 1.030%. Na Tabela 28, estão apresentadas as equações de regressão referente aos acúmulos de biomassa total para cada nível de nutrientes testados. Observa-se que as equações foram significativas, com alto nível de confiabilidade expressos pelos valores dos coeficientes de determinação (R^2) e níveis de probabilidade menores que 1%.

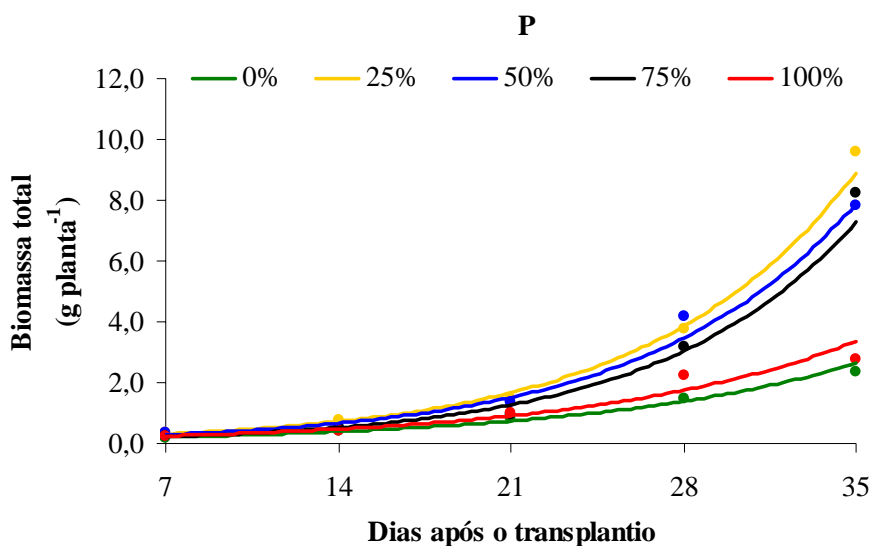


Figura 31. Efeito de diferentes níveis de P (%) na solução nutritiva sobre a biomassa seca total das plantas de *Brachiaria subquadripara* Botucatu/SP, 2006.

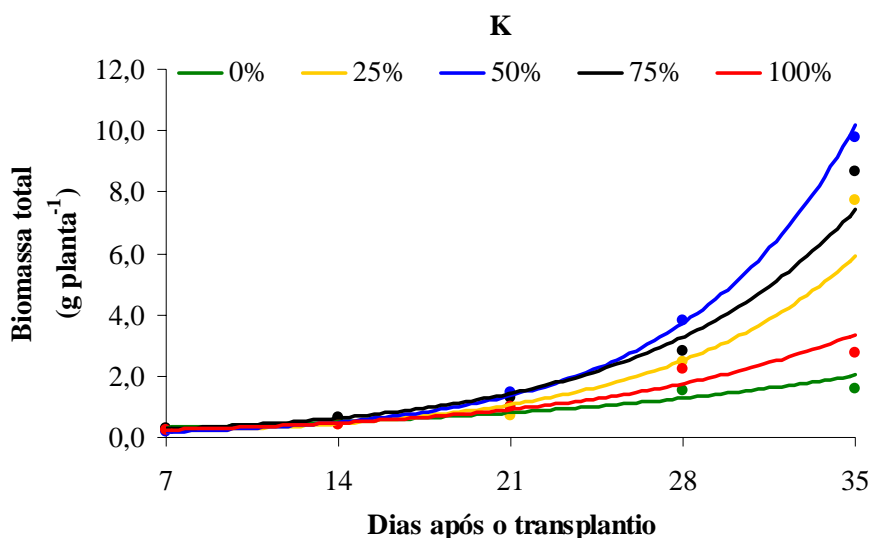


Figura 32. Efeito de diferentes níveis de K (%) na solução nutritiva sobre a biomassa seca total das plantas de *Brachiaria subquadriflora* Botucatu/SP, 2006.

Tabela 28. Equações de regressão referente ao acúmulo de biomassa total de *B. subquadriflora* sob o efeito de diferentes níveis de nitrogênio, fósforo e potássio. Botucatu/SP, 2006.

Biomassa	Nível	Equação	R ²	p
N	0%	$y = 0,14 e^{0,0511x}$	0,98	< 0,001
	25%	$y = 0,088 e^{0,12x}$	0,98	< 0,001
	50%	$y = 0,0181 e^{0,187x}$	0,99	< 0,001
	75%	$y = 0,0945 e^{0,134x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 0,237 e^{0,0719x}$	0,93	< 0,001
P	0%	$y = 0,157 e^{0,0776x}$	0,99	< 0,001
	25%	$y = 0,0947 e^{0,132x}$	0,99	< 0,001
	50%	$y = 0,17 e^{0,11x}$	0,99	< 0,001
	75%	$y = 0,0588 e^{0,141x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 0,237 e^{0,0719x}$	0,93	< 0,001
K	0%	$y = -0,102 + 0,0513x$	0,97	0,002
	25%	$y = 0,025e^{0,164x}$	0,99	< 0,001
	50%	$y = 0,084e^{0,136x}$	0,99	< 0,001
	75%	$y = 0,0495 e^{0,147x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 0,237 e^{0,0719x}$	0,93	< 0,001

6.3.2.3 Comprimento das raízes

O crescimento de raízes consiste em um importante aspecto da ecologia de gramíneas perenes, uma vez que, esta espécie de planta aquática também sobrevive a ambientes anfíbios (variações sazonais de umidade). O comprimento das raízes de *B. subquadripara* na ausência de nitrogênio expressou maior indução na extensão da zona radicular em profundidade e tendeu a aumentar linearmente em função do tempo (Figura 33). Este comportamento geralmente ocorre em plantas aquáticas quando submetidas à condições limitantes de nitrogênio e fósforo. Contudo, a solução a 100% de N também propiciou maior desenvolvimento das raízes a partir dos 21 DAT, apresentando tendência linear e crescente em função do tempo. Já entre os níveis 25, 50 e 75 % as plantas expressaram comportamento semelhante a partir da 4ª semana.

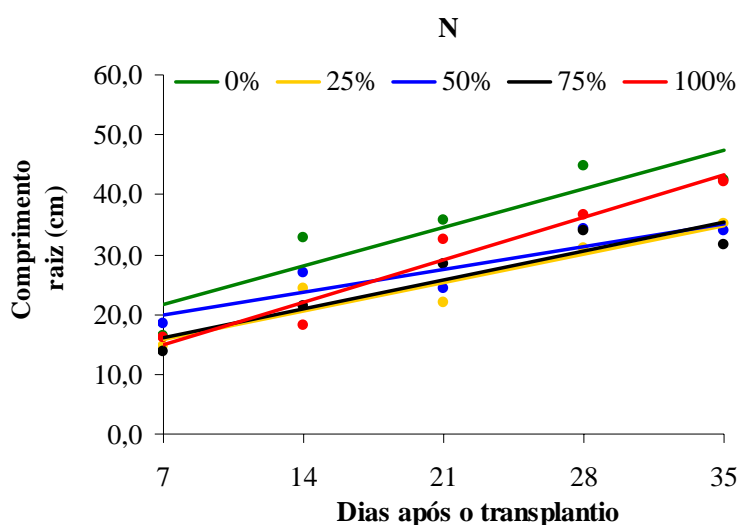


Figura 33. Efeito de diferentes níveis de N (%) na solução nutritiva sobre o comprimento das raízes de plantas de *Brachiaria subquadripara* Botucatu/SP, 2006.

Quanto aos níveis de fósforo (Figura 34), observa-se que durante quatro semanas de cultivo todos os níveis testados quanto ao comprimento de raízes foram superiores em relação à testemunha, uma vez que as plantas submetidas à ausência de P apresentaram desenvolvimento de raízes semelhantes aos observados em 50% de P. No entanto, verificou-se

que a solução a 75%, a partir da 3ª semana apresentou diferenças significativas entre 50% e a ausência de P. Entretanto, na solução a 25% foi observado um comportamento instável ao longo do tempo, sendo registrados os maiores valores de comprimento de raiz durante as três semanas iniciais e redução acentuada ao final das avaliações.

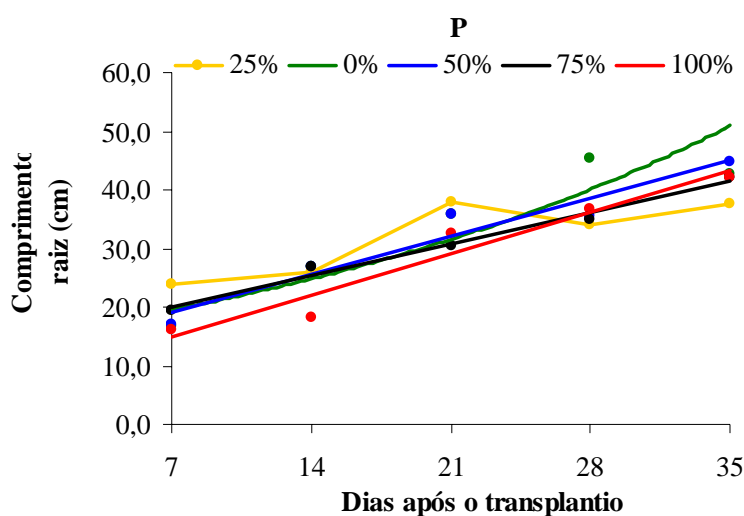


Figura 34. Efeito de diferentes níveis de P (%) na solução nutritiva sobre o comprimento das raízes de plantas de *Brachiaria subquadripara* Botucatu/SP, 2006.

Já entre os níveis de potássio (Figura 35), verificou-se tendência linear e crescente para as soluções 25, 75 e 100%. Ressalta-se que a ausência de K também induziu ao maior desenvolvimento das raízes entre 14 e 21 DAT e permaneceu constante até ao final das avaliações. As plantas cultivadas a 50% de K apresentaram comportamento semelhante ao observado na ausência deste nutriente. No entanto, entre 28 e 35 DAT, nota-se que todos os níveis propiciaram menor desenvolvimento de raízes em relação à testemunha.

Na Tabela 29, encontram-se as equações referentes ao comprimento das raízes de *B. subquadripara*, na qual apresentaram coeficientes de correlação expressivos em relação aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo e potássio, exceto para os níveis 25% de P, 0 e 50% de K.

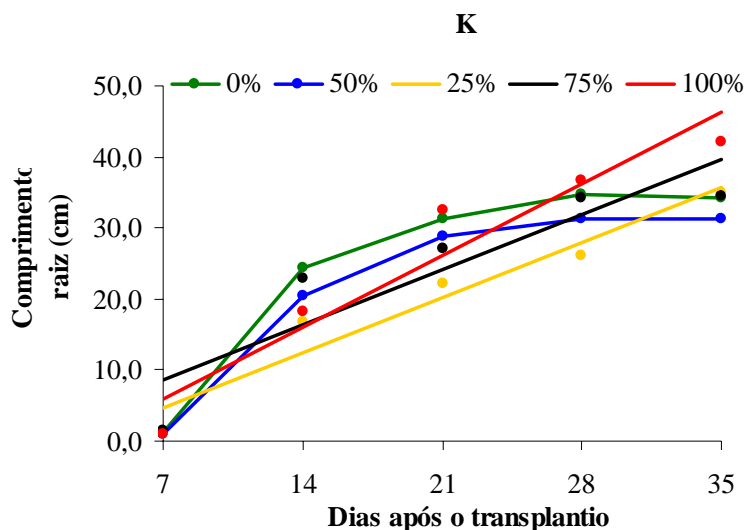


Figura 35. Efeito de diferentes níveis de K (%) na solução nutritiva sobre o comprimento das raízes de plantas de *Brachiaria subquadripara* Botucatu/SP, 2006.

Tabela 29. Equações de regressão referente ao comprimento de raiz de *Brachiaria subquadripara* sob o efeito de diferentes níveis de N, P e K. Botucatu/SP, 2006.

Biomassa	Nível	Equação	R ²	p
N	0%	$y = 0,916x + 15,23$	0,82	0,033
	25%	$y = 0,681x + 11,11$	0,89	0,016
	50%	$y = 0,553x + 15,89$	0,83	0,032
	75%	$y = 0,69x + 11,37$	0,86	0,023
	100%	$y = 1,004x + 8,05$	0,94	0,006
P	0%	$y = 18,18 e^{0,0275x}$	0,80	0,04
	50%	$y = 0,921x + 12,67$	0,93	0,007
	75%	$y = 0,77x + 14,61$	0,98	< 0,001
	100%	$y = 1,004x + 8,05$	0,94	0,006
K	25%	$y = 1,107x - 3,03$	0,94	0,007
	75%	$y = 1,11x + 0,75$	0,82	0,034
	100%	$y = 1,004x + 8,05$	0,94	0,006

6.3.2.4 Número de perfilhos emersos

As gramíneas são caracterizadas pela capacidade de perfilhar, processo pelo qual inicia-se a fase vegetativa, referente ao estágio de três a cinco folhas com a emissão de perfilhos a partir das gemas axilares (Langer, 1963 citado por Andrade, 1987).

O número total de perfilhos por vaso apresentou comportamento diferenciado entre a 4ª e 5ª semana (Figura 36). Neste período, verificou-se que os níveis de 50 e 75 % de N, K e P propiciaram em ordem decrescente maior densidade de perfilhos. A ausência de nitrogênio e níveis limitantes de fósforo condicionaram menor número de perfilhos emersos. O nitrogênio constitui-se em um fator limitante para o crescimento das plantas e essas apresentam vários mecanismos para incrementar a eficiência no uso deste nutriente. Portanto, as plantas quando submetidas a condições de baixa disponibilidade de nitrogênio utilizam estratégias de sobrevivência para evitar a perda de nitrogênio e gasto de energia, as quais referem-se a mecanismos de absorção, assimilação e mobilização dos fotoassimilados ocasionando alterações na alocação de recursos. Estes mecanismos são resultados da adaptação progressiva das plantas à escassez do nitrogênio e depende do nível de estresse imposto (Mooney et al., 1991).

Ressalta-se que, independente do nutriente avaliado, houve comportamento semelhante entre os níveis testados, os quais foram superiores à testemunha principalmente nas últimas semanas de avaliação.

Aos 21 DAT, foi observada redução na densidade de perfilhos emersos para os níveis de 25% de N e P. Este fato, talvez, possa ser relacionado às condições favoráveis presentes na fase inicial de crescimento, as quais permitem o intenso desenvolvimento das gemas, definindo, assim, um maior número de perfilhos. No entanto, com a elevação do índice de área foliar, instala-se a competição por luz, reduzindo, assim, mesmo que em apenas um período, a densidade populacional de perfilhos (Andrade, 1987).

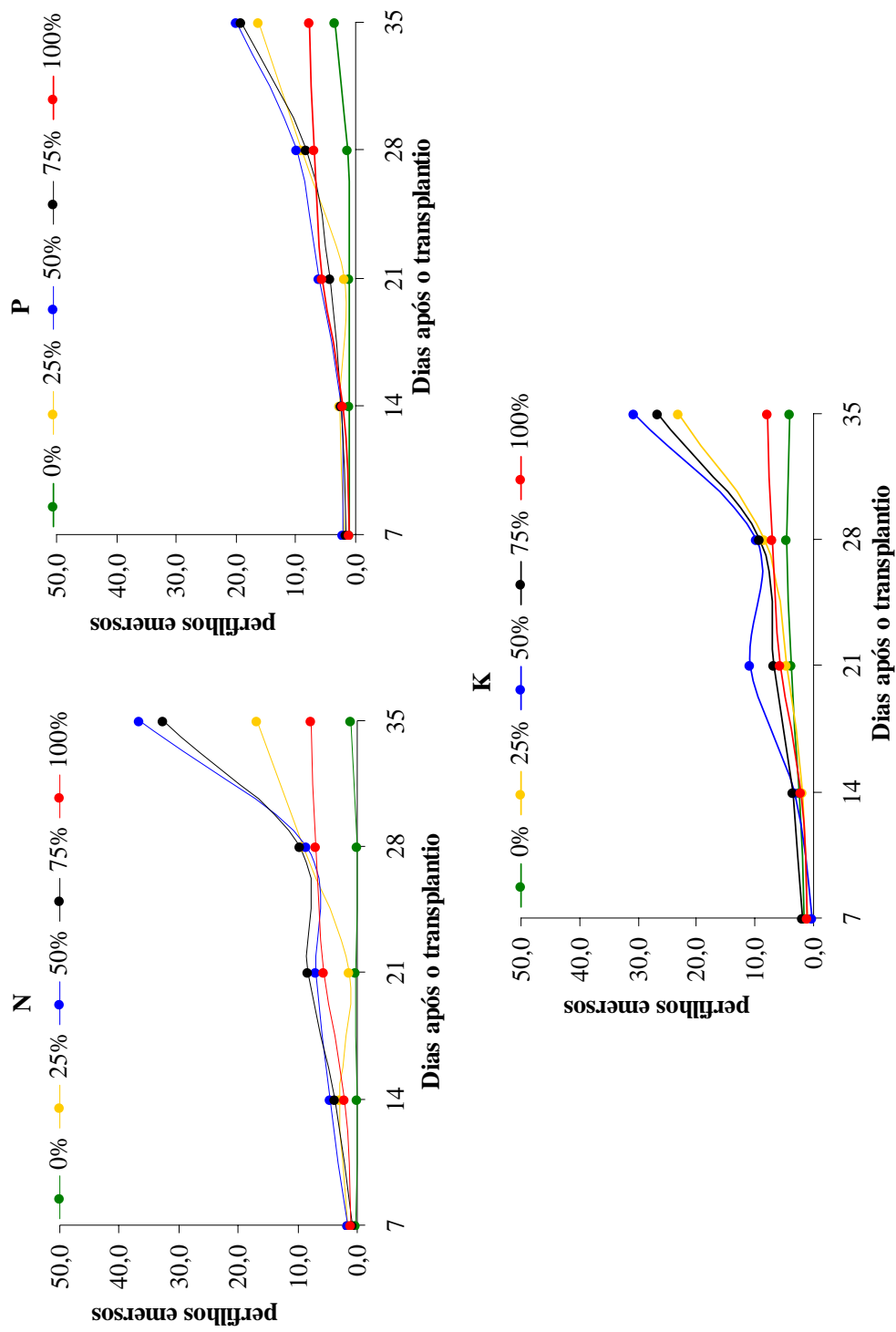


Figura 36. Efeito de diferentes níveis de N, P e K (%) na solução nutritiva sobre o número de perfilhos emersos de plantas de *Brachiaria subquadriflora* Botucatu/SP, 2006.

6.3.2.5 Número de perfilhos submersos

A análise do número de perfilhos submersos sob o efeito das soluções testadas, apresentou comportamento instável ao longo do tempo (Figura 37). No entanto, para o nitrogênio, podem ser observadas fases características que diferem de acordo com a concentração do nutriente. Assim, para os níveis de 0, 100, 75 e 50% de N, referente ao período de 7 a 21 DAT, nota-se que nesta fase inicial a planta manteve constante o número de perfilhos submersos e, a partir deste período ocorreu maior número, o qual pode manter-se constante (níveis 100 e 50%) ou apresentar redução acentuada (0 e 75% de N). A solução a 25% de N, apresentou maior pico de emergência de perfilhos submersos no período correspondente a 14 e 28 DAT.

Para os níveis de fósforo também observou-se comportamento semelhante na fase inicial caracterizada para o nitrogênio, a qual inclui os níveis 0, 100 e 25% de P. Quanto aos níveis 75 e 50% de fósforo, embora tenham propiciado variações mais frequentes durante o desenvolvimento da planta, percebe-se que ao final do período avaliado resultaram em maior perfilhamento na parte submersa.

Já, entre os níveis de K, a fase inicial de perfilhamento submerso foi revelada nas plantas cultivadas a 0, 75 e 100% de potássio, enquanto comportamento instável foi observado em 25% de K. No entanto, a partir de 21 DAT, verifica-se maior número de perfilhos entre os níveis 75 e 50%.

As flutuações observadas na densidade da biomassa submersa podem ser explicadas pelas diversas variações na alocação dos recursos e que variam de acordo com a demanda da planta. Portanto, a redução ou aumento no número destes perfilhos talvez possa caracterizar esta espécie pelo elevado potencial em acumular reservas em vias alternativas de biomassa, as quais podem ter a função de fonte ou dreno dependendo das condições nutricionais do ambiente de crescimento.

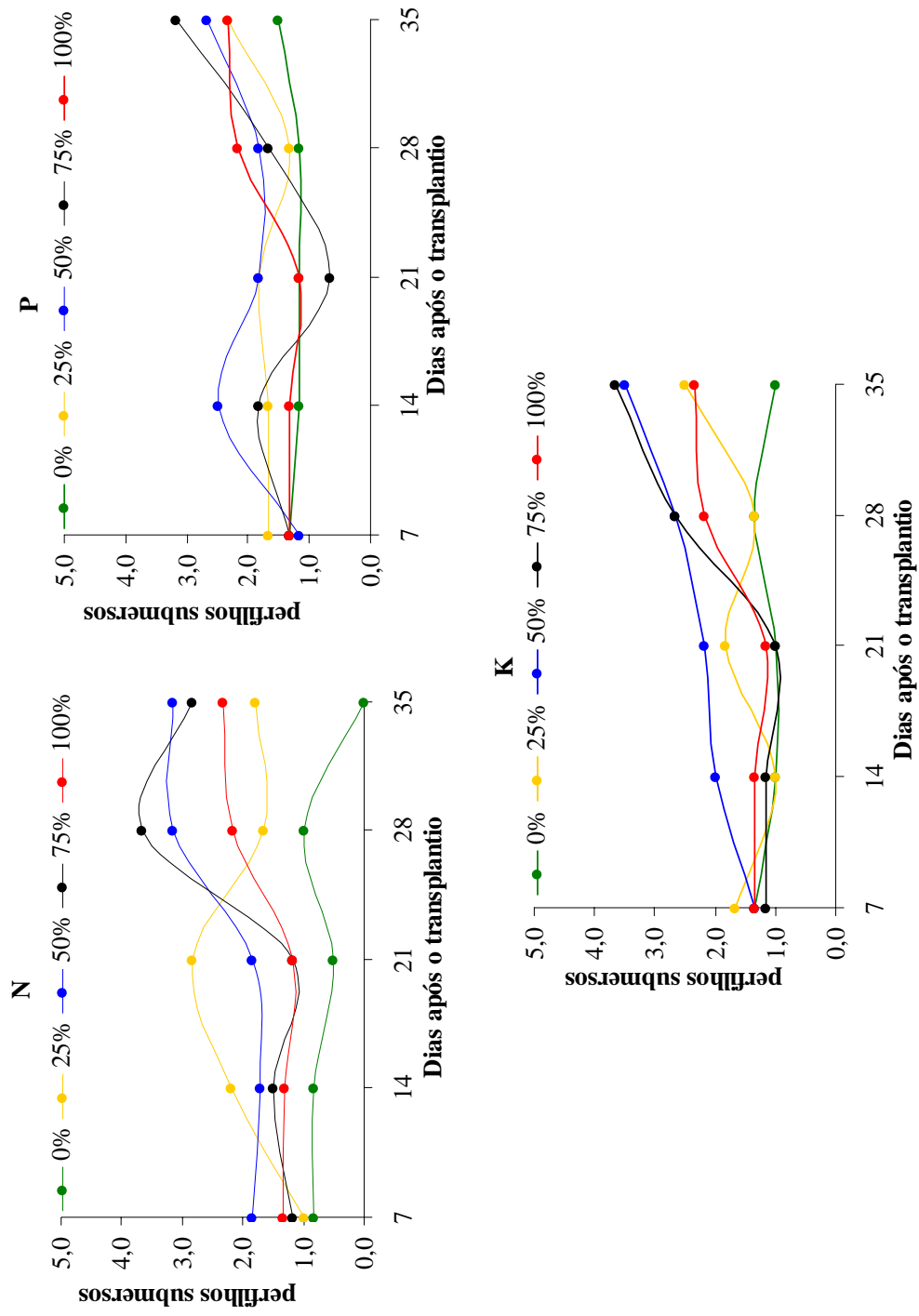


Figura 37. Efeito de diferentes níveis de N, P e K (%) na solução nutritiva sobre o número de perfis submersos de plantas de *Brachiaria subquadrifera* Botucatu/SP, 2006.

6.3.2.6 Comprimento de perfilhos emersos

O alongamento do colmo constitui-se em um forte dreno de fotoassimilados e nutrientes das folhas basilares (Dale, 1982 citado por Andrade, 1987). Assim, no presente estudo percebe-se que os níveis intermediários de nitrogênio testados (50 e 75%) propiciaram condições mais favoráveis ao alongamento dos colmos em relação aos demais níveis (Figura 38). A ausência de nitrogênio afetou de forma expressiva o desenvolvimento dos colmos.

Contudo, entre os níveis de fósforo observou-se tendência exponencial e decrescente com o aumento da concentração deste nutriente na solução, exceto para a ausência de P (Figura 39). Entretanto, os valores de comprimento dos perfilhos emersos obtidos entre variações das concentrações de fósforo foram menores aos observados entre os níveis de N. Estes resultados permitem inferir que a maior disponibilidade de fósforo pode ser mais efetiva na determinação do desenvolvimento dos colmos do que em condições de maiores concentrações de nitrogênio.

Esta afirmativa pode ser constatada entre os níveis de potássio, nos quais foram mantidas as maiores concentrações de N e P (Figura 40). Verificou-se que a ausência de K, até a 3ª semana, propiciou condições nutricionais mais favoráveis ao maior desenvolvimento dos colmos do que em relação à testemunha. Ressalta-se que a partir da 3ª semana, as plantas de *B. subquadripara* tenderam a aumentar a demanda de potássio, uma vez que, entre os níveis de 50 e 75% induziram o crescimento em extensão dos perfilhos emersos.

Na Tabela 33, encontram-se as equações de regressão referente ao comprimento de perfilhos emersos sob o efeito dos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo e potássio testados. Observa-se que o comportamento da planta em relação ao comprimento de perfilhos emersos apresentou alta correlação com os níveis testados em função do tempo, uma vez que os coeficientes de determinação foram maiores que 90% e significativos a probabilidades menores que 1%.

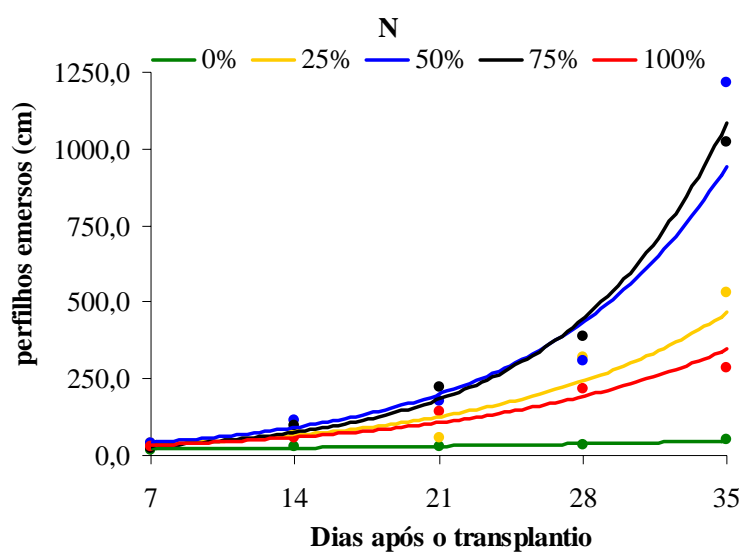


Figura 38. Efeito de diferentes níveis de N (%) na solução nutritiva sobre o comprimento de perifilhos emersos das plantas de *Brachiaria subquadripara* Botucatu/SP, 2006.

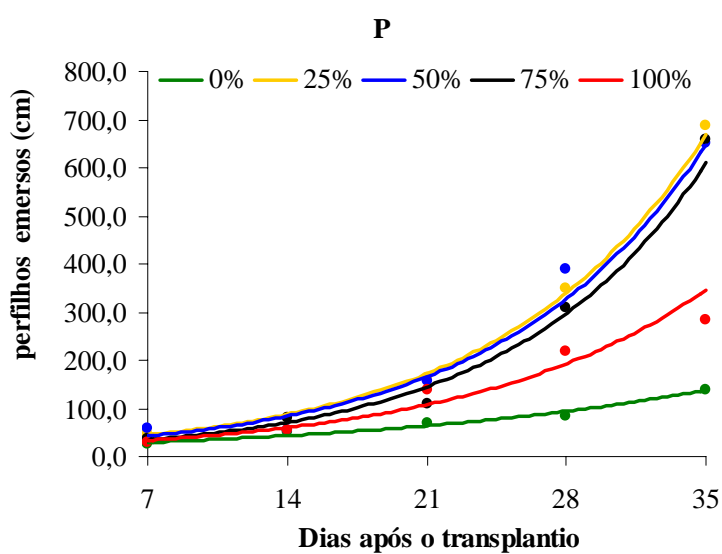


Figura 39. Efeito de diferentes níveis de P (%) na solução nutritiva sobre o comprimento de perifilhos emersos de plantas de *Brachiaria subquadripara* Botucatu/SP, 2006.

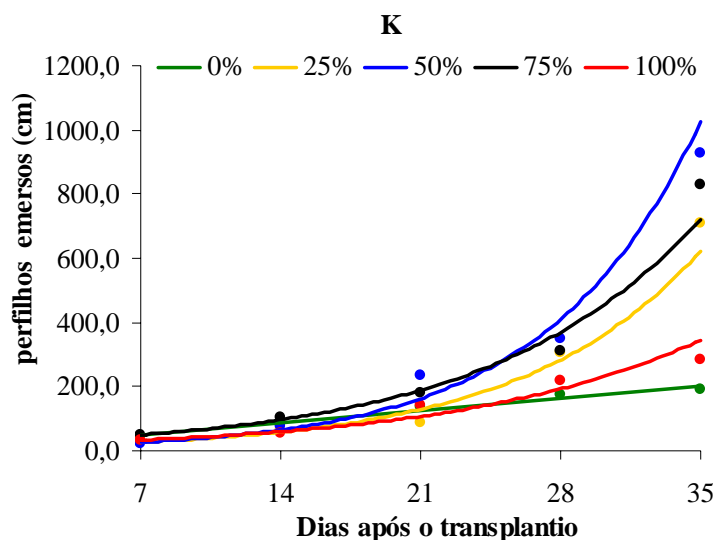


Figura 40. Efeito de diferentes níveis de K (%) na solução nutritiva sobre o comprimento de perfilhos emersos de plantas de *Brachiaria subquadripara* Botucatu/SP, 2006.

Tabela 30. Equações de regressão referente ao comprimento de perfilhos emersos de *Brachiaria subquadripara* sob o efeito de diferentes níveis de nitrogênio, fósforo e potássio (y) em função do tempo (x). Botucatu/SP, 2006.

Biomassa	Nível	Equação	R ²	p
N	0%	$y = 15,13 e^{0,034 x}$	0,90	0,014
	25%	$y = 14,89 e^{0,103 x}$	0,96	0,004
	50%	$y = 3,47 e^{0,167 x}$	0,99	< 0,001
	75%	$y = 14,05 e^{0,122 x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 31,91 e^{0,064 x}$	0,95	0,005
P	0%	$y = 21,06 e^{0,053 x}$	0,98	0,001
	25%	$y = 20,74 e^{0,100 x}$	0,99	< 0,001
	50%	$y = 24,79 e^{0,094 x}$	0,98	< 0,001
	75%	$y = 12,67 e^{0,113 x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 31,91 e^{0,064 x}$	0,95	0,005
K	0%	$y = 5,56x + 7,94$	0,97	0,002
	25%	$y = 7,98 e^{0,128 x}$	0,99	< 0,001
	50%	$y = 14,17 e^{0,119 x}$	0,99	< 0,001
	75%	$y = 12,99 e^{0,118 x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 31,91 e^{0,064 x}$	0,95	0,005

6.3.2.7 Comprimento de perfilhos submersos

O comprimento de perfilhos submersos revelou duas fases distintas e que podem caracterizar o comportamento da espécie durante o desenvolvimento da planta, independente do nutriente e níveis testados (Figura 41). A fase inicial pode ser definida como um período de pouco desenvolvimento da biomassa submersa, sendo que o comprimento manteve-se relativamente constante entre 7 e 21 DAT, exceto para 25% de N e 50% de P. Estas exceções representaram os maiores valores de comprimento dos perfilhos submersos registrados no período. Já, a segunda fase avaliada caracterizou-se pela maior extensão destes perfilhos verificada aos 28 DAT e redução acentuada no comprimento dos mesmos. A dinâmica da variação observada no comprimento destes perfilhos, decorre do surgimento e morte dos mesmos que, dependendo da alocação e demanda por nutrientes, investe em maior ou menor proporção em relação ao desenvolvimento desta biomassa submersa. Neste período, ressalta-se que os picos referentes ao maior comprimento de perfilhos foram observados nas plantas cultivadas entres os níveis 75% de N, 50% de P e 50% de K.

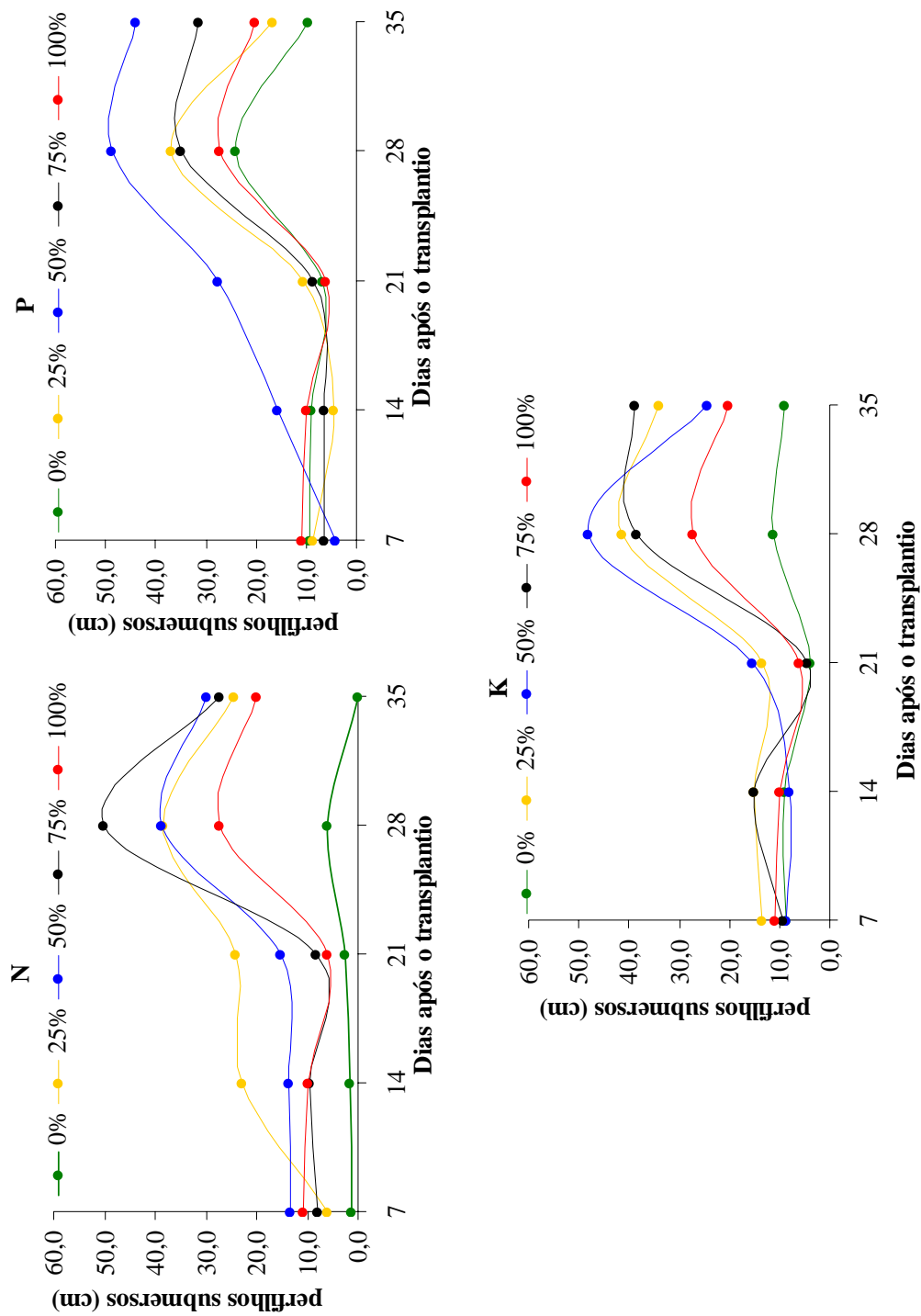


Figura 41. Efeito de diferentes níveis de N, P e K (%) na solução nutritiva sobre o comprimento de perfílios submersos de plantas de *Brachiaria subquadrifera* Botucatu/SP, 2006.

6.3.2.8 Número de folhas emersas

Na Figura 42 estão representados os resultados de número de folhas emersas sob o efeito de diferentes concentrações de N, P e K. De maneira geral, percebe-se que houve comportamento semelhante entre os nutrientes testados, em função dos acréscimos progressivos no número de folhas até ao final das avaliações. A ausência destes nutrientes na solução induziu a um aumento desta variável entre 21 e 28 DAT e redução acentuada observada em maior proporção para as ausências de P, N e K. Enquanto para o nível 100%, também foram registrados acréscimos e o comportamento diferiu ao observado nas ausências de N, P e K, pois os valores obtidos foram relativamente constantes ao final do período avaliado. Nesta fase final de avaliação, constatou-se que as condições mais favoráveis ao incremento no número de folhas da parte emersa foi observado entre as soluções de 50 e 75% de N, 25 e 75% de P, assim, como 75 e 50% de K. Verificou-se, ainda, que a variação dos níveis dos nutrientes permitiu inferir uma ordem de essencialidade em termos de demanda para a produção de folhas, a qual se insere o fósforo, potássio e nitrogênio. Esta afirmativa baseou-se na densidade de folhas por planta observada entre os níveis, uma vez que, a seqüência de nutrientes apresentada refletiu em menor número de folhas pela variação da concentração na solução. Assim, percebe-se que a uma determinada concentração (50% da solução) o nitrogênio em interação sinérgica com outros macronutrientes exerce função importante na produção de material fotossintetizante.

Aos 28 DAT nota-se que na ausência de N e P houve maior produção de folhas e, nas semanas anteriores, os resultados foram similares ou menores em relação à testemunha. Este comportamento talvez possa ser explicado pela utilização de recursos acumulados durante as três semanas anteriores para um maior investimento em folhas, para aumentar o potencial de produção de energia suficiente para garantir a sobrevivência em condições limitantes de N e P.

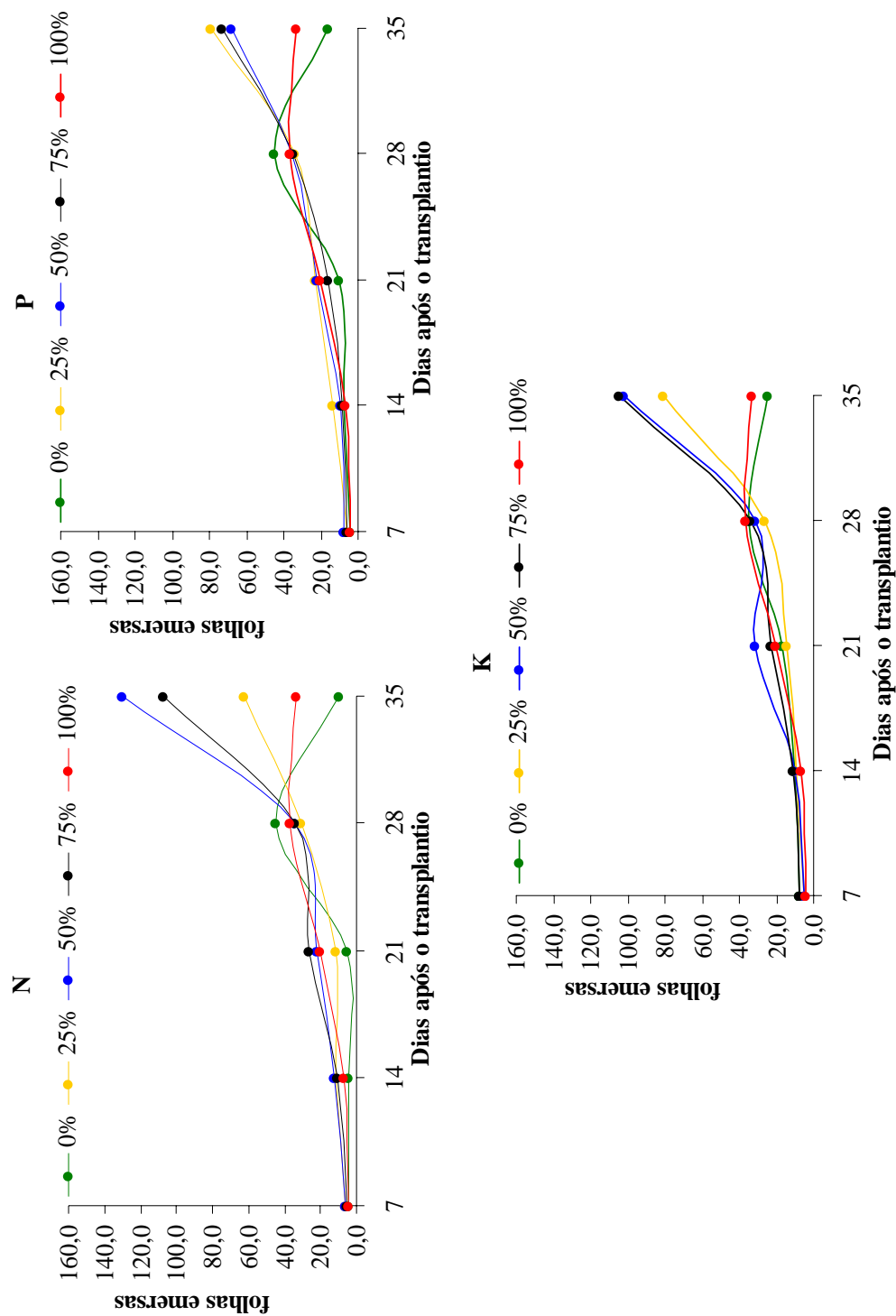


Figura 42. Efeito de diferentes níveis de N, P e K (%) na solução nutritiva sobre o número de folhas emersas de plantas de *Brachiaria subquadrifera* Botucatu/SP, 2006.

6.3.3.9 Número de folhas submersas

Na parte submersa, as folhas apresentaram comportamento similar ao observado para o comprimento de perfilhos quando constatou-se fases distintas de desenvolvimento em função do tempo (Figura 43). No entanto, a solução a 25% de N na segunda semana propiciou maior produção de folhas, a qual apresentou redução drástica no período seguinte e manteve-se constante ao final das avaliações. Observou-se, também, na segunda semana um aumento na extensão dos perfilhos submersos, o que pode ter influenciado no maior número de folhas pelo surgimento de novas gemas axilares.

Já, para a ausência de fósforo verificou-se maior produção de folhas submersas aos 21 DAT e redução drástica na semana seguinte, a qual correspondeu ao período de maior produção de folhas emersas. Quanto aos demais níveis a partir da 3ª semana houve incrementos progressivos no número de folhas submersas, com maior intensidade para as plantas cultivadas a 25% de P. Assim, a habilidade de uma espécie competir em ambientes com baixos suprimentos de P, depende mais das adaptações adquiridas em condições de baixos níveis de nutrientes e uma alta eficiência na utilização do fósforo, o que reflete na maior habilidade da planta em ajustar sua dinâmica de alocação aos recursos disponíveis (Lorenzen et al., 2001).

A produção de folhas submersas foi reduzida consideravelmente entre as diferentes concentrações de potássio na solução. No entanto, os resultados observados entre os níveis foram relativamente constantes nas três semanas iniciais, sendo verificados acréscimos na semana seguinte e uma redução acentuada ao final das avaliações. Nesta fase final, ressalta-se que as plantas cultivadas a 75% de K apresentaram comportamento diferenciado, uma vez que, o número de folhas submersas apresentou redução aos 28 DAT e acréscimos expressivos ao final do período avaliado.

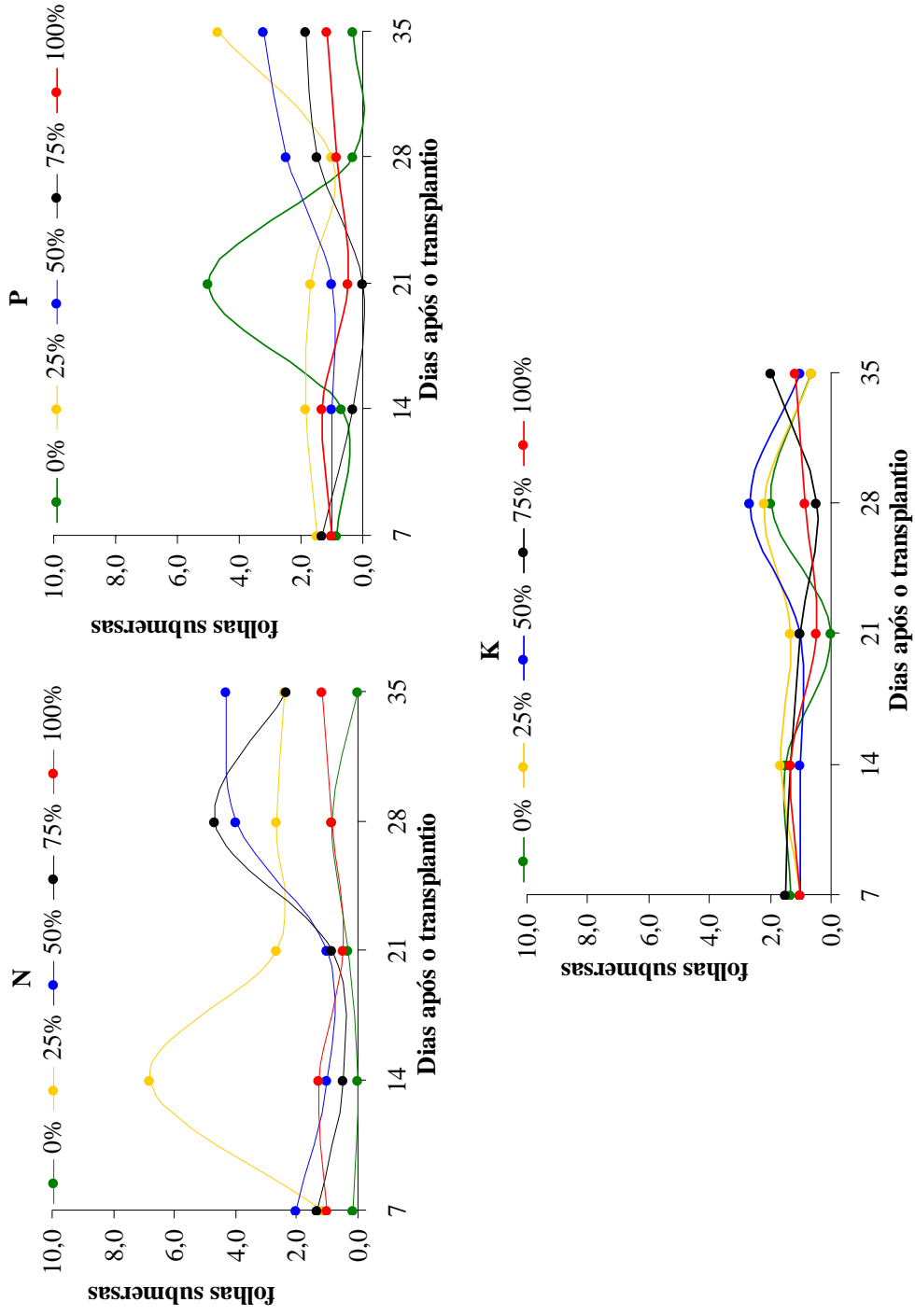


Figura 43. Efeito de diferentes níveis de N, P e K (%) na solução nutritiva sobre o número de folhas submersas de plantas de *Bracharia subquadrifera* Botucatu/SP, 2006.

6.3.3 Análise de Crescimento

6.3.3.1 Área foliar específica

O comportamento da área foliar específica de *B. subquadripara* sob o efeito dos níveis de nitrogênio pode ser observado na Figura 44. De maneira geral, exceto para a ausência de N, os valores da AFE nos demais níveis de nitrogênio foram menores no início (7 a 14 DAT). Estes resultados refletem que no início do desenvolvimento, exceto para a ausência de N, houve maior incremento em biomassa do que em superfície foliar.

De forma geral, as espécies de crescimento rápido tendem a maior desenvolvimento da área foliar por unidade de massa da planta do que em relação às espécies de crescimento lento (Werf, 1996). Estas diferenças na razão de área foliar são quantificadas pelas diferenças na área foliar específica. Os mecanismos que controlam a expansão da folha são muito complexos porque além da ativação gênica, a morfogênese da planta está relacionada com a plasticidade para permitir adaptação às alterações nas condições ambientais, incluindo modificações em fatores como luz, temperatura e estado nutricional (Horiguchi et al., 2006).

A modificação na área foliar específica está relacionada com a variação na anatomia e morfologia foliar, bem como à composição química. A anatomia foliar está fortemente correlacionada com a composição química, isto é, folhas com alta razão de área da parede celular e volume celular sempre possuem maior área foliar específica, mas apresenta também maior quantidade de celulose e hemicelulose por unidade de área foliar (Lambers & Poorter, 1992). Outros pesquisadores estudaram em 14 gramíneas as diferenças entre TCR e AFE, o que permitiu concluir que a densidade foliar (massa seca por unidade de volume) das espécies de crescimento lento e menor AFE foi significativamente superior do que o observado em espécies de crescimento rápido e maior AFE. Portanto, este fenômeno não é explicado pela menor área dos espaços intercelulares das espécies de crescimento lento, mas principalmente pela maior porção de material denso, como o tecido esclerenquimático que constitui-se em um fator essencial para a confiabilidade desta hipótese (Van Arendonk & Poorter, 1994 citados por Werf, 1996).

O comportamento da área foliar específica no presente estudo foi estável ao longo do tempo, embora observou-se pequenos acréscimos. No entanto, constatou-se que os maiores

valores de AFE foram encontrados nas soluções de 100 e 25% de N ao final do período de avaliação. No entanto, em relação aos demais níveis, verificou-se redução a partir dos 21 DAT. Ressalta-se que nas duas primeiras semanas a maior AFE foi observada na ausência de nitrogênio e resultou em drástica redução com o crescimento da planta. Este resultado concorda com a literatura que registra o fato dos valores de AFE serem maiores no início do desenvolvimento, o que sugere folhas pouco espessas, com reduzidos acúmulos de biomassa seca e área foliar (Benincasa 1988). Werf (1996) relata que o decréscimo na AFE em condições de baixo suprimento de nitrogênio pode ser explicado parcialmente pelo incremento de carboidratos não-estruturais, lignina e outros compostos fenólicos. Entretanto, Pereira & Machado (1987) ressaltam que em algumas espécies cultivadas, os valores de AFE podem permanecer constantes ou variar pouco durante o período do crescimento vegetativo.

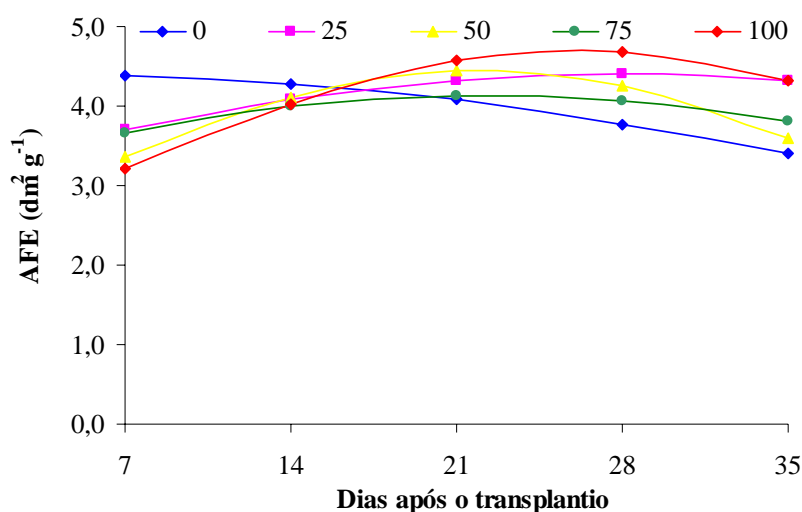


Figura 44. Área foliar específica (AFE) de plantas de *Brachiaria subquadriflora* submetidas a diferentes níveis de nitrogênio em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

Quanto aos níveis de fósforo, verificou-se comportamento semelhante ao observado com as concentrações de nitrogênio testadas, porém a ausência de P manteve-se constante em função do tempo (Figura 45). Já, no tratamento 25% de P foram observados incrementos crescentes durante o período de avaliação, sendo que o desenvolvimento da área foliar neste tratamento foi proporcionalmente maior em relação ao acúmulo de biomassa, o que indica

grande crescimento em superfície e folhas pouco espessas. Esta expansão foliar inicial normalmente suporta o processo de fotossíntese, o qual é o responsável pelo posterior acúmulo de biomassa seca que associado à translocação de solutos orgânicos contribuem para o decréscimo dos valores de AFE ao longo do tempo (Boaro, 1986). Verificou-se que a ausência de P afetou a AFE, uma vez que este tratamento propiciou os menores valores a partir dos 21 DAT.

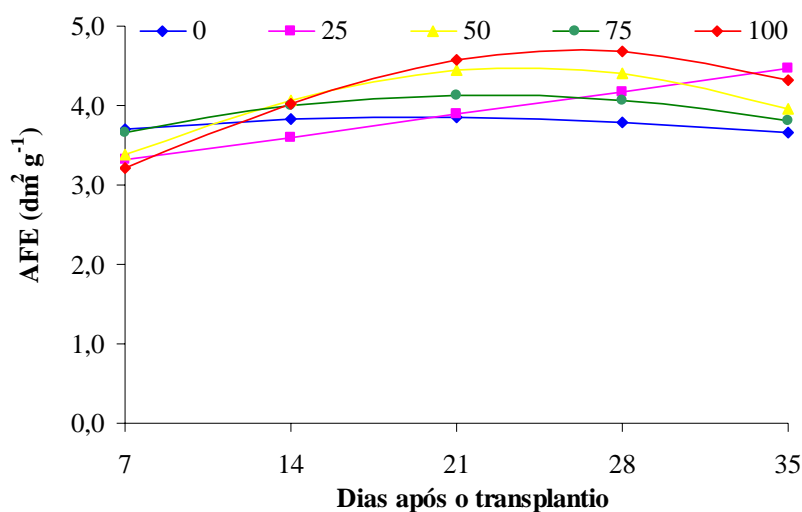


Figura 45. Área foliar específica (AFE) de plantas de *Brachiaria subquadripura* submetidas a diferentes níveis de fósforo em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

Os resultados obtidos entre os níveis de potássio foram maiores entre 14 e 21 DAT e a partir deste período houve redução, exceto para a ausência de K (Figura 46). Este comportamento indica maior desenvolvimento em superfície neste período e um conseqüente aumento no acúmulo de biomassa em resposta à estruturação do aparato fotossintético obtido na fase anterior, pelo aumento da área foliar. Em relação a este fato, ressalta-se que os níveis 25 e 50% de K propiciaram a produção de folhas mais finas, provavelmente devido à intensa expansão foliar e translocação. A ausência de K, durante o período de 7 a 21 DAT proporcionou menores valores de AFE, no entanto, após este período observou-se incrementos crescentes até aos 35 DAT. Isto indica que na ausência de potássio, proporcionalmente em

relação à biomassa produzida, podem ocorrer efeitos prejudiciais ao crescimento em superfície até os 21 DAT e associado a uma recuperação da planta em termos de área foliar.

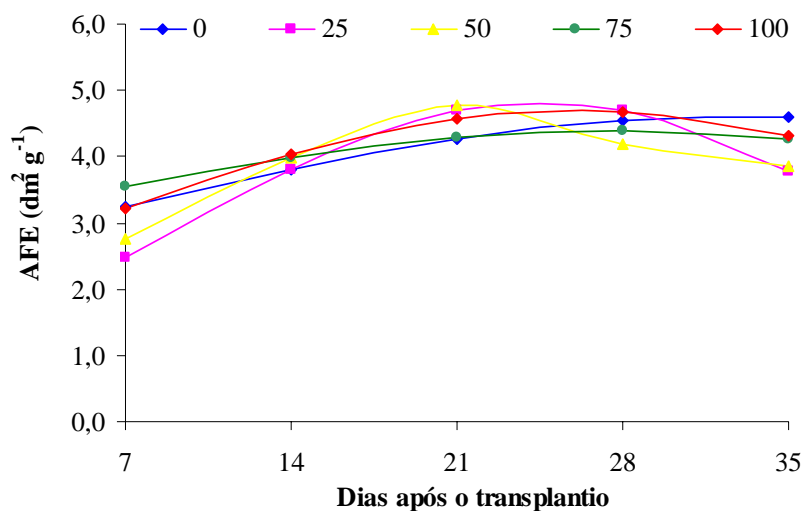


Figura 46. Área foliar específica (AFE) de plantas de *Brachiaria subquadripara* submetidas a diferentes níveis de potássio em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

6.3.3.2 Razão de Massa foliar

Os resultados obtidos entre os níveis de nitrogênio revelam, de maneira geral, que a razão de massa foliar decresce ao longo do tempo em todos os tratamentos (Figura 47). Este parâmetro fisiológico representa a proporção de material fotossintetizante, em relação à massa de matéria seca total da planta, ou seja, constitui-se na fração de biomassa não exportada pelas folhas (Brandes et al., 1973). A razão de massa foliar, de acordo com Radford (1967), indica a partição de assimilados entre o crescimento da folha e de outras partes da planta. Reflete, ainda, a relação do aparelho fotossintetizante, em função da fitomassa total (Rodrigues, 1990).

Portanto, ressalta-se que inicialmente a exportação de fotoassimilados, pela parte emersa da planta de *B. subquadripara*, é considerada pequena, pois os valores de RMF são altos. À medida que a planta cresce, os valores diminuem e a translocação aumenta. Assim, nota-se que nas plantas submetidas ao nível de 100% de N, aos 35 DAT apresentaram aumento na

RMF, o que reflete em uma estratégia da planta em acumular biomassa nas folhas e reduzir a translocação neste período.

A ausência deste nutriente afetou significativamente a razão de massa foliar, a qual apresentou redução acentuada aos 14 DAT e ao final do período de avaliação, exceto para o nível 100 % de N aos 35 DAT. Estes resultados sugerem que as plantas de *B. subquadripara* submetidas ao excesso de nitrogênio pode ser prejudicial à produção de biomassa de folhas.

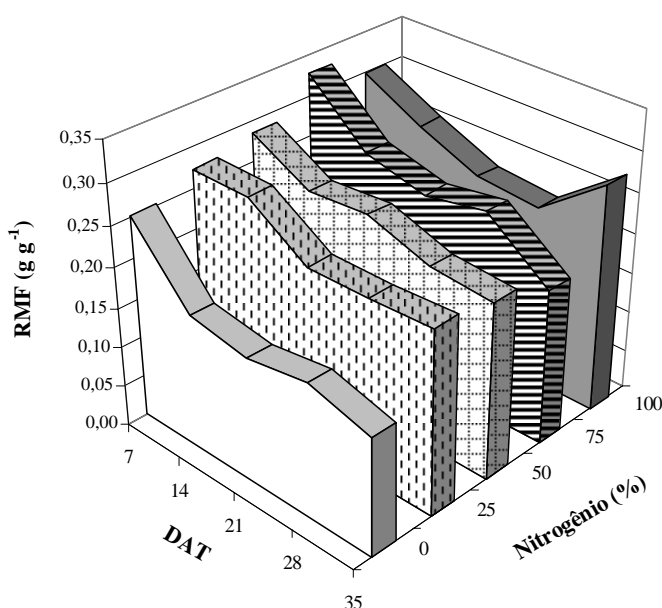


Figura 47. Razão de massa foliar de plantas de *Brachiaria subquadripara* submetidas a diferentes níveis de nitrogênio em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

Já, entre os níveis de fósforo (Figura 48) verificou-se que a ausência deste nutriente causou efeitos negativos mais críticos quanto à razão de massa foliar, em relação ao comportamento das plantas submetidas aos níveis de nitrogênio. Isto pode ser constatado pela redução mais acentuada ao longo do tempo, que infere à maior translocação para outros órgãos da planta, possivelmente para a raiz. Outro aspecto importante a ser destacado refere-se aos resultados obtidos no nível 25% de P, no qual houve a maior produção de biomassa de folhas em relação aos demais níveis nas duas semanas iniciais. No entanto, neste tratamento nota-se que a redução na RMF foi mais acentuada do que em relação aos outros tratamentos de fósforo, sendo possível inferir que o processo de translocação foi mais acelerado nas plantas condicionadas a 25% de P.

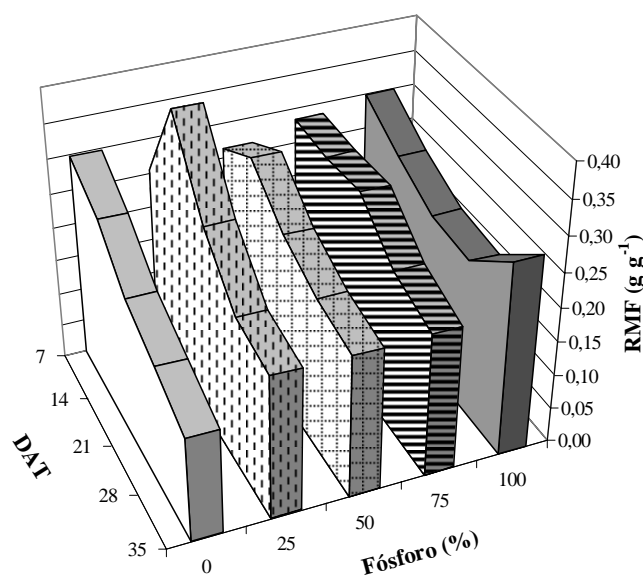


Figura 48. Razão de massa foliar de plantas de *Brachiaria subquadriflora* submetidas a diferentes níveis de fósforo em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

Quanto aos níveis de potássio (Figura 48), foi possível constatar que apenas na primeira semana de avaliação, a ausência deste nutriente propiciou os maiores valores de RMF e conseqüentemente maior acúmulo de biomassa de folhas em relação aos outros órgãos da planta. Portanto, infere-se que plantas de *B. subquadriflora* condicionadas à ausência de potássio pode ocasionar maior translocação de material fotossintetizado, em relação àquelas submetidas à adição deste nutriente. No entanto, ocorreu uma redução após 14 DAT observada tanto na ausência deste nutriente quanto nos níveis mais elevados (75 e 100%). Já, entre os níveis de 25 e 50% de K, a redução foi progressiva devido aos pequenos incrementos e estabilidade dos resultados observados na segunda semana. Após a segunda semana, verificou-se que as plantas tratadas com o nível 75% de K apresentaram razão de massa foliar constante ao longo do tempo.

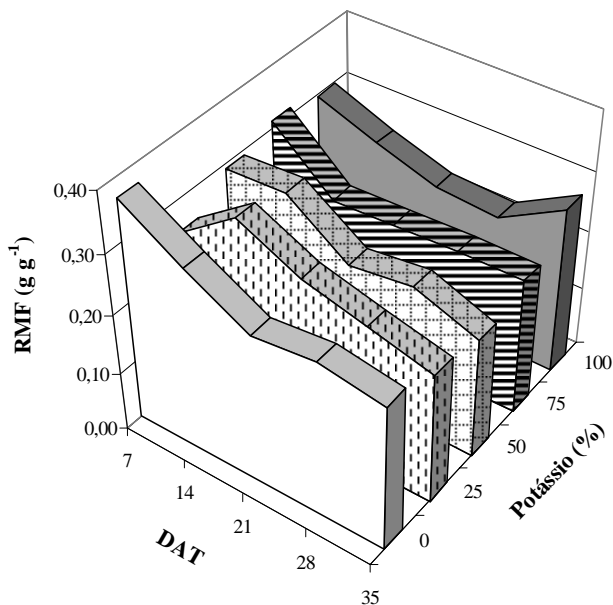


Figura 49. Razão de massa foliar de plantas de *Brachiaria subquadripata* submetidas a diferentes níveis de potássio em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

6.3.3.3 Razão de área foliar

A razão de área foliar (RAF) expressa a área foliar útil para a fotossíntese, sendo dependente da variação da AFE e/ou RMF (Benincasa, 1988). Os resultados obtidos para este índice fisiológico em função de diferentes níveis de nitrogênio estão apresentados na Figura 50.

Verificou-se inicialmente que a RAF apresentou comportamento semelhante entre os níveis de nitrogênio, exceto para o nível 75% de N. De maneira geral, houve um decréscimo na razão de área foliar com a idade da planta avaliada no período experimental.

Contudo, a instabilidade dos resultados observada em plantas cultivadas a 75% de N, refletiu as possíveis alterações na alocação dos recursos na planta durante o período avaliado e/ ou possíveis variações de fatores que influenciaram também a biomassa seca total e a área foliar dentro de cada período avaliado. Ainda, em relação a este tratamento, utilizou-se apenas os resultados calculados de RAF devido ao não ajuste do modelo executado pelo programa Anacres para os resultados da solução a 75% de N.

Assim, na solução a 75% existiram picos de RAF mais evidentes já na primeira semana de cultivo. Estes aumentos nos valores de RAF podem ser atribuídos ao maior desenvolvimento da área foliar neste período, o que revela a competitividade da espécie, em função da alta eficiência no aproveitamento de recursos como a utilização do fósforo disponível para a expansão foliar. Esta estratégia de competição é essencial para a colonização de plantas aquáticas em corpos hídricos, pois aumenta a captação de energia luminosa e CO₂, os quais são recursos determinantes para a sobrevivência e predomínio de uma espécie dentro de uma comunidade.

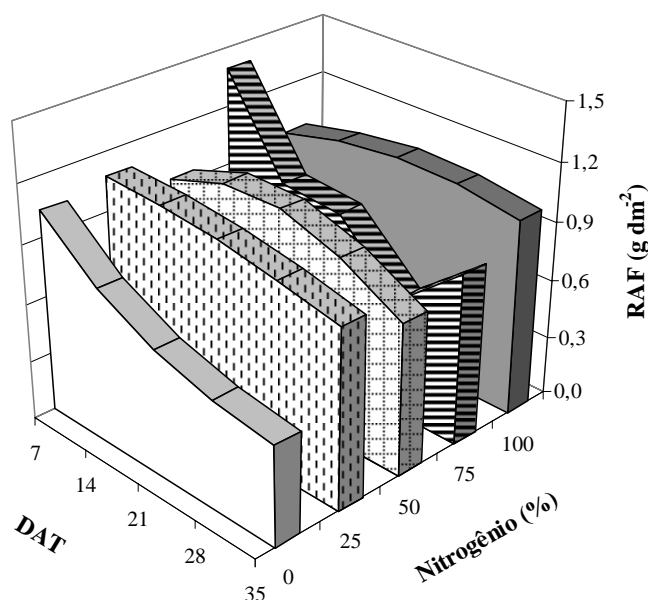


Figura 50. Razão de área foliar de plantas de *Brachiaria subquadriflora* submetidas a diferentes níveis de nitrogênio em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

Quanto ao fósforo (Figura 51), a resposta a este índice fisiológico foi decrescente com o aumento da concentração de P na solução. Ressalta-se que aos 28 DAT foram observados os maiores incrementos na RAF encontrados em plantas cultivadas em 25, 50, 75 e 100% de P (27,5; 24,3; 8,9; 11,4 %, respectivamente), em relação à 0% de P. A ausência de fósforo condicionou a redução crescente (12,4 a 49,3%) com a idade da planta, o que caracteriza sintomas de deficiência deste nutriente e conseqüente ativação do processo de senescência ou morte da planta.

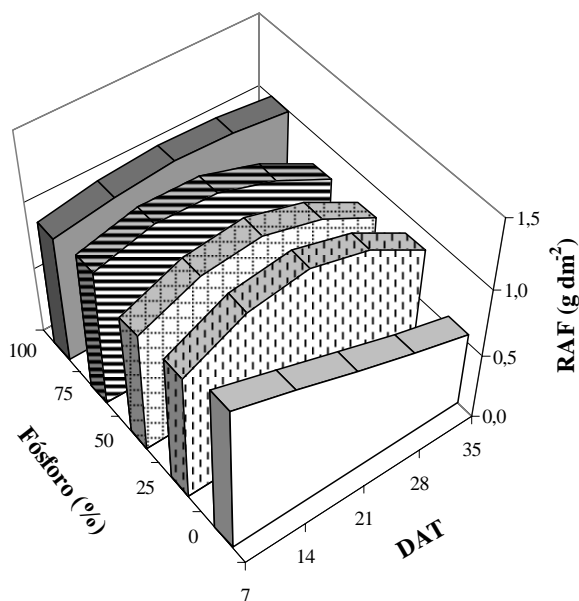


Figura 51. Razão de área foliar de plantas de *Brachiaria subquadripata* submetidas a diferentes níveis de fósforo em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

O comportamento da RAF foi diferente entre os níveis de potássio, o que demonstra a atividade deste elemento em relação à absorção de outros nutrientes que resultou em três respostas fisiológicas distintas, as quais correspondem aos níveis 25 e 50%, 0 e 75%, bem como 100% de K (Figura 52). Os resultados da RAF obtidos nos níveis 25 e 50% de K foram caracterizados por uma fase de aumento crescente até aos 21 DAT e redução nos períodos seguintes em função do crescimento da planta no qual aumenta a interferência das folhas superiores sobre as inferiores, reduzindo, assim, a área foliar útil, a partir de determinada fase.

Os maiores incrementos de RAF registrados nas plantas submetidas a 25 e 50 % de K corresponderam a 103,6 e 42,8 % observados aos 21 DAT. As condições nutricionais propiciadas nestes níveis de potássio, provavelmente não foram suficientes para atender a demanda da planta e, assim, resultou em decréscimo da área foliar útil para a fotossíntese. Esta hipótese justifica-se pelo fato dos outros níveis de maior concentração de potássio apresentar RAF relativamente constante ao longo do período avaliado.

Observou-se que a ausência de K condicionou uma redução de 5% nos valores de RAF na primeira semana de cultivo e, entre os períodos de 21 a 28 DAT, houve redução de 8%.

Após este período nota-se pequenos incrementos que talvez relacione-se com uma possível recuperação da planta após a ocorrência de sintomas leves de deficiência. Já na solução com 100% de K observou-se que aos 21 e 28 DAT houve pequenos acréscimos (11,4 a 10,6%) seguidos de leve redução (5% em relação aos períodos citados) na RAF obtida pelas plantas. No entanto, este nível mais concentrado de potássio proporcionou resultados que podem ser considerados constantes ao longo do tempo quando comparados ao comportamento expresso nas plantas tratadas em níveis de menores concentrações.

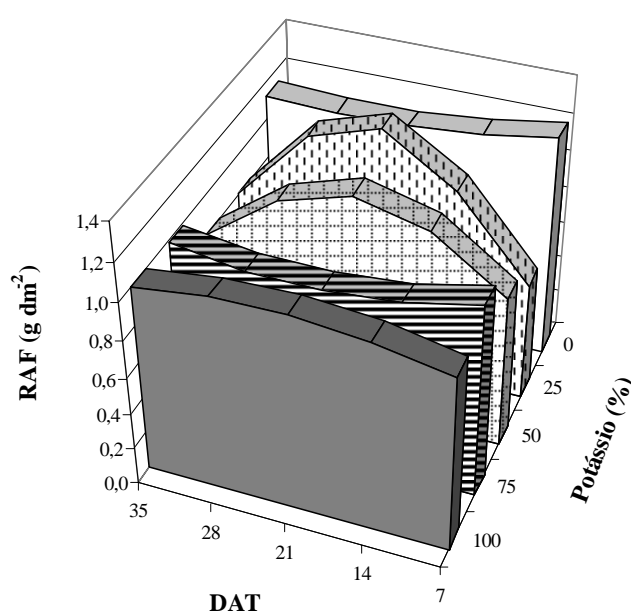


Figura 52. Razão de área foliar de plantas de *Brachiaria subquadrifera* submetidas a diferentes níveis de potássio em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

6.3.3.4 Taxa de assimilação líquida

Os resultados obtidos para a taxa de assimilação líquida (TAL) em função dos níveis de nitrogênio encontram-se apresentados na Figura 53. A análise entre os níveis de nitrogênio na primeira semana permite observar que ocorreu uma alta eficiência da utilização da radiação (TAL), exceto na solução a 75% de N. Watson (1952) e Milthorpe & Moorby (1974) relataram que a taxa de assimilação líquida diminui com a idade das plantas, o que não foi ora observado nas condições do presente estudo, exceto a 100 % de N. Assim, nas plantas tratadas

com 100% de N foram constatados decréscimos (18,7 a 52,5 %) na taxa de assimilação líquida com a idade da planta. Larcher (2000) relatou que a taxa de assimilação líquida expressa o aumento de matéria seca em relação a toda a área foliar responsável por este aumento, por unidade de tempo. A taxa de assimilação líquida é especialmente alta durante a intensa fase de crescimento (21 a 35 DAT), o que corrobora os resultados ora obtidos entre os níveis de 0 a 75% de N.

Larcher (2000) também relata que a caracterização de um vegetal em relação a sua produtividade é necessário conhecer o valor máximo da TAL durante o principal período de crescimento, bem como o valor médio da TAL obtido por meio de uma média compreendendo todo o período de assimilação. No entanto, o cálculo do ponto máximo da TAL não se aplica aos resultados ora obtidos, uma vez que, *B. subquadripara* apresentou crescimento exponencial crescente ou decrescente com a idade da planta nas condições nutricionais avaliadas.

Contudo, o valor médio da TAL obtido entre o período de assimilação foi 13,9, 11,4, 9,2, 7,4 e 7,3 g m⁻² dia⁻¹ correspondentes aos níveis 50, 25, 100, 0 e 75 % de N, respectivamente. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Larcher (2000) que realizou uma revisão relacionada a espécies de gramíneas de prado de clima temperado e cereais, as quais apresentaram amplitude de 5 a 15 g m⁻² dia⁻¹.

Provavelmente, as plantas de *B. subquadripara* não expressaram o potencial máximo em relação a TAL devido ao cultivo em condições de casa-de-vegetação que limita de certa forma a arquitetura da planta bem como a captação de energia solar, a qual pode ser prejudicada pela estrutura do ambiente controlado. Outro aspecto, que também é importante ressaltar, consiste nas temperaturas mais baixas registradas na solução nutritiva ocasionadas pela estação de inverno que incluiu alguns períodos de condução do experimento.

Verificou-se que a adição de 25% de N na solução nutritiva foi suficiente para aumentar a TAL em 50%, referente à média dos períodos avaliados. Para Kumura & Naniwa (1965) citados por Rodrigues (1990), a TAL aumenta com o crescimento das folhas, atingindo um valor máximo e diminui ao atingir a senescência. No entanto, em relação ao presente estudo, observou-se redução da TAL apenas no nível 100% de N. As divergências relacionadas com a literatura para este parâmetro fisiológico, talvez possa ser justificada pela variabilidade entre

espécies, influência de condições climáticas, forma de condução dos experimentos e pelas variações intra-específicas da TAL.

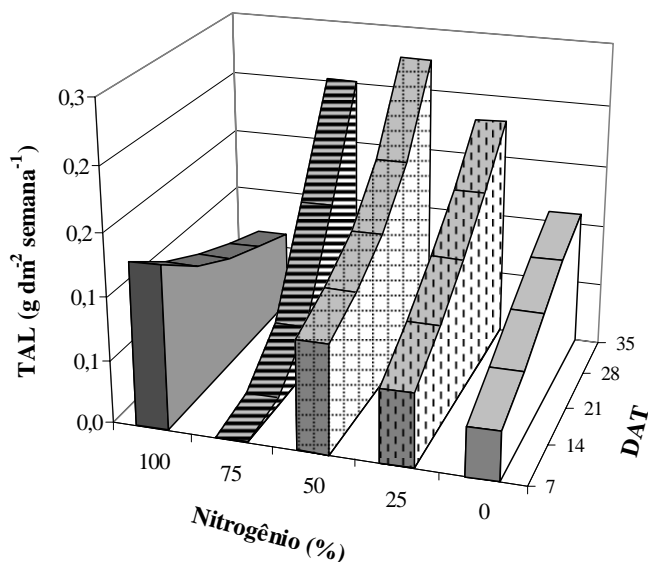


Figura 53. Taxa assimilatória líquida referente a plantas de *Brachiaria. subquadriflora* submetidas a diferentes níveis de nitrogênio em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

A taxa assimilatória líquida obtida nas plantas submetidas aos níveis de fósforo em função do tempo estão apresentadas na Figura 54. Verificou-se inicialmente que a solução completa referente ao nível 100% propiciou os maiores valores da TAL, porém, ao longo do tempo houve redução acentuada neste parâmetro. Enquanto na ausência de P, o comportamento da TAL foi constante durante o período avaliado. Já, entre os níveis de 25 a 75% de P a tendência foi exponencial em função do tempo e crescente com o aumento da concentração deste nutriente na solução. Boaro (1986) relata que a TAL reflete a influência do sistema assimilador envolvido na produção de matéria seca, estimando a fotossíntese líquida; dessa forma, não se pode afirmar ser o fósforo indispensável para o sistema assimilador das plantas de *B. subquadriflora*, uma vez que, na ausência deste nutriente a TAL foi constante ao longo do tempo e ao final do período de avaliação propiciou valores superiores aos

encontrados no tratamento a 100% de fósforo. Portanto, o excesso de fósforo na solução talvez possa ser mais prejudicial ao sistema assimilador da planta do que a ausência do nutriente.

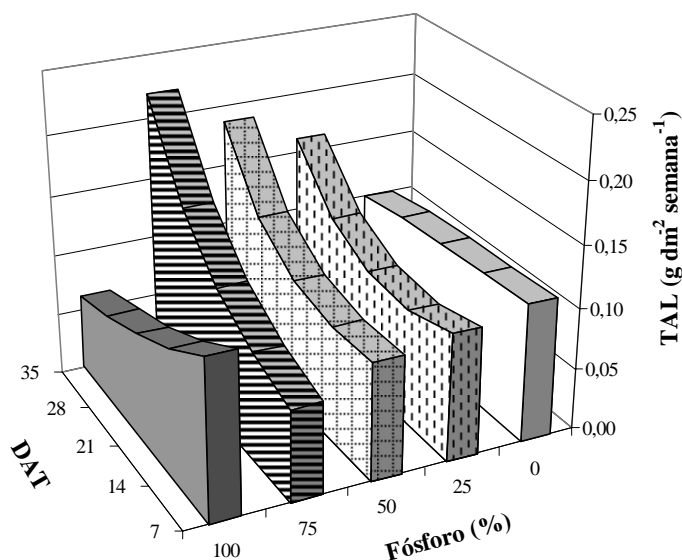


Figura 54. Taxa assimilatória líquida referente a plantas de *Brachiaria subquadriflora* submetidas a diferentes níveis de fósforo em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

Quanto ao potássio (Figura 55), observou-se que a ausência deste nutriente afetou significativamente o sistema assimilador, pois as taxas de assimilação líquida apresentaram reduções drásticas ao longo do período de avaliação. As reduções observadas neste tratamento ao final das avaliações foram correspondentes a 99,2% em relação à primeira semana. No entanto, o nível de 25% foi suficiente para condicionar os maiores valores deste parâmetro, embora os valores observados na primeira semana fossem menores em relação aos demais níveis. Verificou-se, ainda, no nível de 25% que houve incrementos de 401,4% ao final do período avaliado. Ressalta-se que a adição de 25% de P na solução, na primeira semana causou redução de 51,6% nos valores da TAL, porém aos 28 DAT, houve incrementos de 57,5% e, ao final das avaliações, foram registrados acréscimos de 362,6% em relação à diferença entre os valores observados na ausência de P. Já, o nível de 50% após a primeira semana causou leve redução e propiciou comportamento estável até aos 21 DAT e, em seguida, apresentou aumentos crescentes até ao final do período das avaliações. Contudo, as

plantas submetidas ao nível de 75% , apresentaram tendência a aumentos crescentes na TAL em função do tempo.

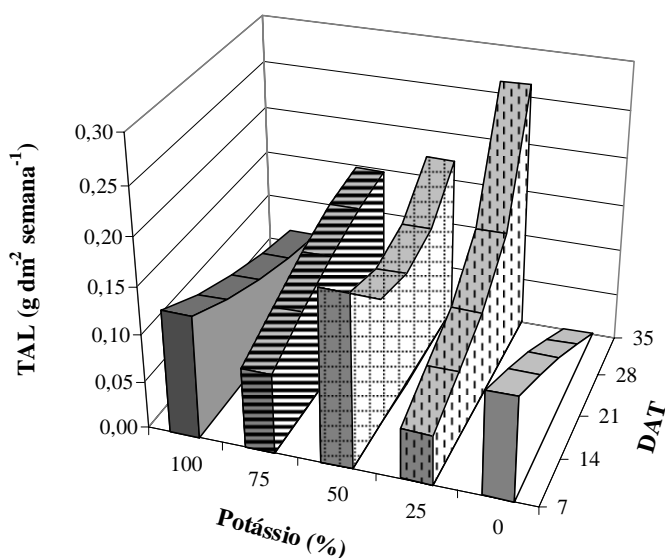


Figura 55. Taxa assimilatória líquida referente a plantas de *Brachiaria subquadripara* submetidas a diferentes níveis de potássio em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

6.3.3.5 Taxa de crescimento relativo

A taxa de crescimento relativo (TCR) reflete o aumento da matéria orgânica seca, em gramas, de uma planta ou de qualquer órgão dessa planta, em um intervalo de tempo, sendo função do tamanho inicial, ou seja, de material pré-existente (Benincasa, 1988). Briggs et al. (1920) citado por Rodrigues, (1990) relatou que este parâmetro fisiológico é considerado como a medida mais apropriada para avaliação do crescimento vegetal, sendo dependente da quantidade de material que está sendo acumulado.

Na Figura 56, referente aos níveis de nitrogênio, verificou-se que as plantas de *B. subquadripara* expressaram aumentos crescentes na taxa de crescimento relativo em função do tempo com o acréscimo de nitrogênio na solução até determinada concentração (nível 50%). A concentração de 84 mg L⁻¹ de nitrogênio (50% da solução base) foi considerada como

uma concentração limite para a TCR, sendo que o aumento da concentração acima deste valor pode causar reduções na TCR ao longo do desenvolvimento da planta.

A ausência de nitrogênio afetou consideravelmente a TCR em relação aos demais níveis, pois apresentou valores relativamente constantes durante o período avaliado.

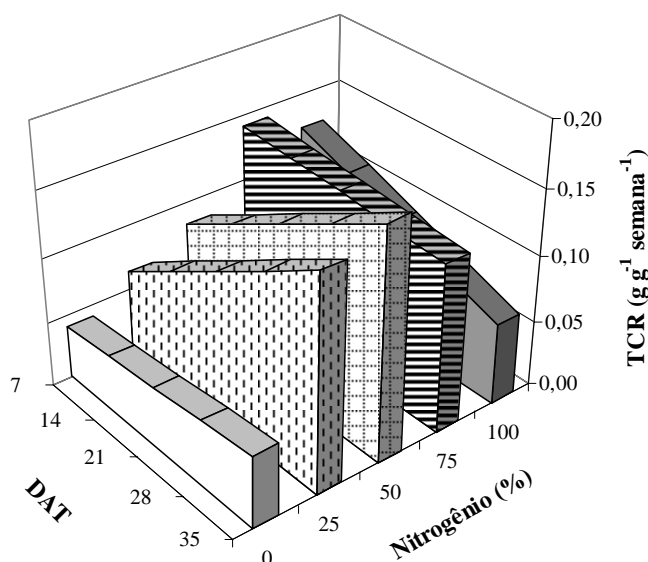


Figura 56. Taxa crescimento relativo de plantas de *Brachiaria subquadriflora* submetidas a diferentes níveis de nitrogênio em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

Os resultados obtidos entre os níveis de fósforo (Figura 57) revelaram que a ausência de P na primeira semana não foi tão prejudicial, pois os valores da TCR foram maiores em relação aos observados para o nitrogênio. No entanto, verificou-se que o nível 100% e a ausência de fósforo propiciaram decréscimos deste parâmetro com o desenvolvimento da planta. Este comportamento em função do tempo pode ser constatado na maioria das culturas e foi relatado por Milthorpe & Moorby (1974), os quais realizaram uma extensa revisão de análise de crescimento de plantas submetidas a concentrações nutricionais usuais. Os pesquisadores concluíram que durante a ontogenia de uma cultura, há um primeiro período com taxas de crescimento aceleradas, seguido de um outro em que as taxas são mais ou menos constantes e de um terceiro, com declínio neste parâmetro. Neste último período, o crescimento torna-se negativo em função da morte de folhas e gemas.

Contudo, estas fases distintas do crescimento não foram observadas nos resultados obtidos entre os níveis de 25 a 75% de P, uma vez que, as taxas de crescimento relativo foram crescentes com o aumento da concentração na solução e exponencial em função do tempo. Tal fato pode estar relacionado ao período experimental avaliado, 35 DAT, que não foi suficiente para analisar outras fases do crescimento da planta como a senescência.

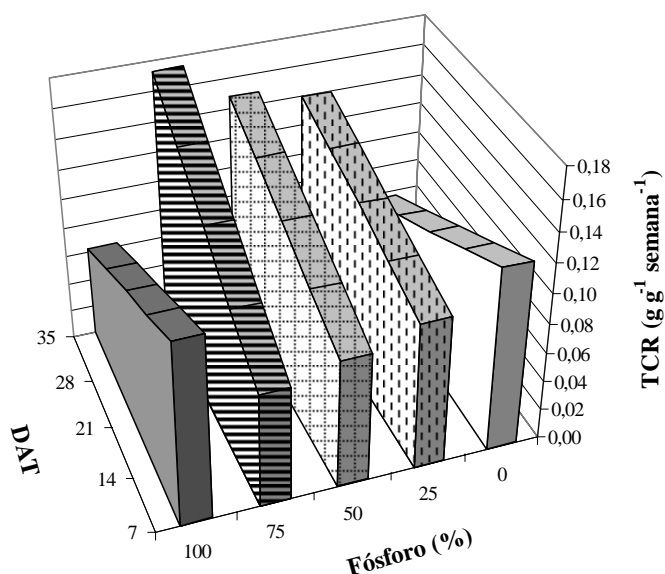


Figura 57. Taxa crescimento relativo de plantas de *Brachiaria subquadripara* submetidas a diferentes níveis de fósforo em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

Verificou-se que entre os níveis de potássio (Figura 58), bem como em relação aos níveis de N e P, que os maiores valores de TCR foram obtidos com a adição de 25% de potássio. Este resultado permite inferir que maiores concentrações de K quando associadas às condições de N e P mais concentradas, podem causar efeitos negativos no acúmulo de biomassa de *B. subquadripara*. Assim, para o nível 50% de K foram observados os maiores valores de TCR na primeira semana e permaneceu constante ao longo do tempo. Enquanto, para o nível de 75%, observaram-se menores valores aos 7 DAT e incrementos crescentes durante o período avaliado, porém em menor proporção à TCR obtida a 75% de P. Ressalta-se,

que a ausência de potássio aos 7 DAT, condicionou às plantas a obter taxas de crescimento relativo superiores às registradas na ausência de N, porém não foi suficiente para evitar uma redução drástica ao longo do tempo. Outro aspecto importante a ser destacado, refere-se à ausência de fósforo, a qual apresentou os maiores valores de TCR observados no presente estudo.

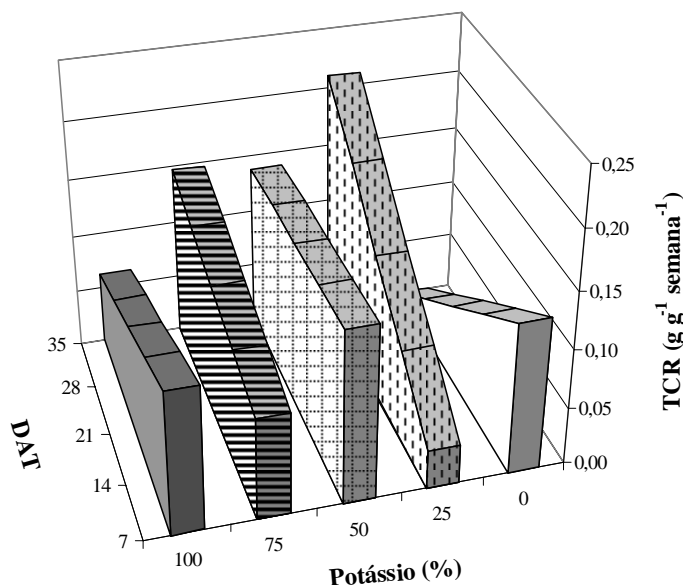


Figura 58. Taxa crescimento relativo de plantas de *Brachiaria subquadripara* submetidas a diferentes níveis de potássio em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

6.3.3.6 Taxa de crescimento absoluto

A taxa de crescimento absoluto é a variação ou o incremento entre duas amostragens, a qual indica a velocidade média de crescimento (Benincasa, 2003).

Geralmente, as espécies que apresentam crescimento rápido, conseqüentemente, possuem maior área foliar específica, maior razão de massa foliar, rápida taxa de fotossíntese por unidade de massa foliar, respiração por unidade massa foliar e radicular bem como alta taxa de absorção iônica por unidade de biomassa radicular. Estas características contribuem para maiores concentrações de nitrogênio e outros minerais nos tecidos vegetais (Poorter et al., 2005).

Em relação à biomassa total produzida pelas plantas submetidas aos níveis de N testados (Figura 59), observou-se que no início (7 a 14 DAT) as diferenças são pequenas e o processo de crescimento foi lento. No entanto, a partir dos 21 DAT, as diferenças entre os níveis testados passaram a ser bastante acentuadas e crescentes até ao final do período avaliado. Ressalta-se que os períodos avaliados não foram suficientes para determinar o ponto máximo de velocidade do crescimento. Contudo, nota-se que a velocidade média foi crescente até 50% de N e a partir desta concentração houve decréscimo. Em condições limitantes de N, bem como para o excesso da concentração deste nutriente, pode resultar em um processo lento de crescimento, uma vez que, a TCA observada nestas condições apresentou reduções drásticas em relação aos outros níveis testados.

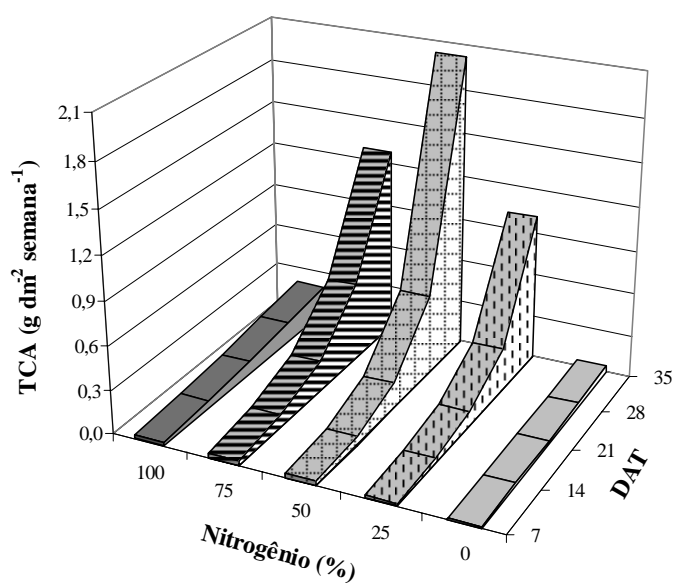


Figura 59. Taxa crescimento absoluto de plantas de *Brachiaria subquadripara* submetidas a diferentes níveis de nitrogênio em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

Já, em relação ao fósforo (Figura 60), observou-se aumento crescente da TCA com o nível do nutriente na solução, sendo obtido maiores valores a 75% de P. Contudo, nas condições limitantes de fósforo a velocidade média de crescimento também foi afetada, porém

em menores proporções como o observado para o nitrogênio. Este efeito negativo também foi constatado em condições de alta concentração de fósforo (solução a 100%), sendo observada em relação à ausência de P incrementos de 19,6 a 43,4% crescentes com o desenvolvimento da planta. Entretanto, nota-se que estes valores não foram muito expressivos quando se compara à solução a 75% de P, a qual em relação à ausência de P, na primeira semana propiciou uma redução de 13,3%, porém nos períodos consecutivos houve incrementos crescentes de 9,1 a 1.041,4% na TCA. Este fato, permite inferir que o nível 75% de P, resultou em condições favoráveis ao crescimento mais rápido da planta a partir dos 14 DAT.

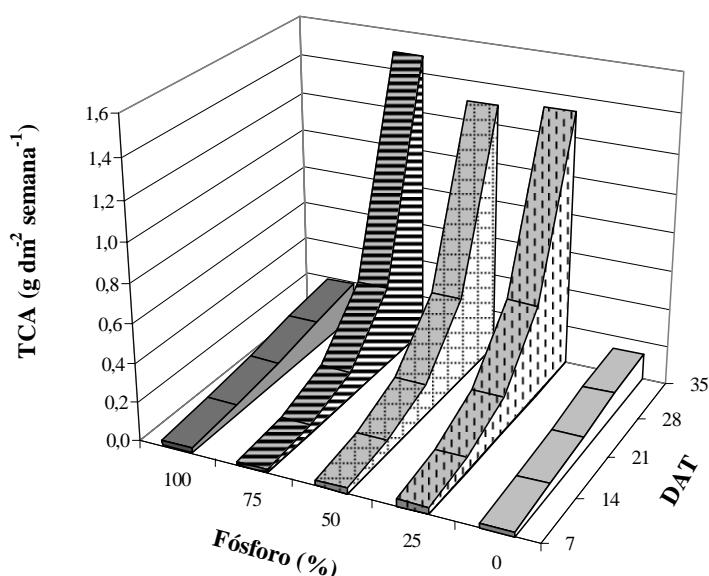


Figura 60. Taxa crescimento absoluto de plantas de *Brachiaria subquadriflora* submetidas a diferentes níveis de fósforo em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

A taxa de crescimento absoluto para os níveis de potássio testados, apresentou uma tendência decrescente com o aumento da concentração de potássio na solução, exceto para a ausência deste nutriente (Figura 61). Verifica-se que a ausência de potássio também afetou significativamente a TCA, sendo observado aos 21 DAT maior velocidade no crescimento. Porém, em relação a este pico máximo, apresentou reduções drásticas ao final do período avaliado (97,8%). A solução a 25% de K, entre 7 a 28 DAT, foi caracterizada por uma fase de crescimento mais lento em relação aos demais níveis de maior concentração. Entretanto, aos

35 DAT, observou-se que a velocidade média de crescimento foi superior aos demais níveis testados. Provavelmente, na solução a 25% de K, durante as quatro semanas iniciais, a concentração de potássio não foi suficiente para atender a demanda do desenvolvimento da planta, o que resultou em acúmulos de biomassa progressivos, que pode ter influenciado em um maior potencial em aumentar a velocidade do crescimento aos 35 DAT. Assim, ao observar as correlações deste parâmetro de crescimento com outras variáveis de acúmulo de biomassa verifica-se que esta hipótese pode ser considerada, uma vez que, a TCA obtida a 25% de K apresentou correlação positiva com as biomassas de folha, colmos e raízes, bem como em relação à área foliar (dados não publicados na tese).

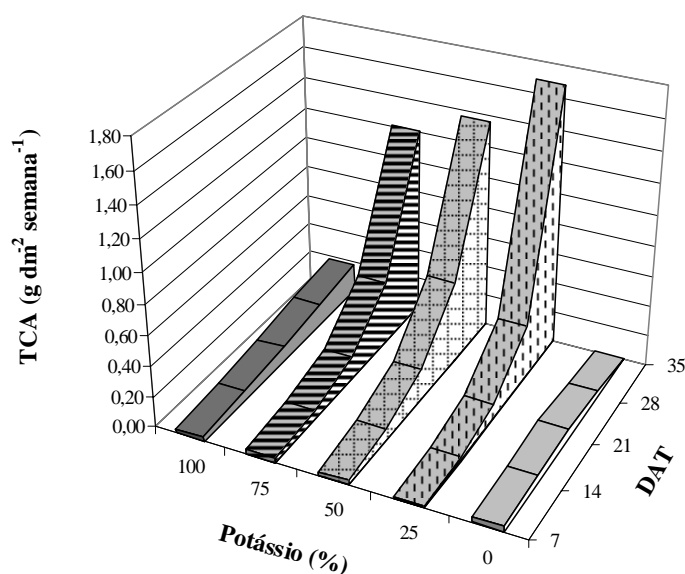


Figura 61. Taxa crescimento absoluto de plantas de *Brachiaria subquadrifera* submetidas a diferentes níveis de potássio em função do tempo. Botucatu/SP, 2006.

Ressalta-se que a velocidade de crescimento para esta espécie constitui-se em um parâmetro de extrema importância pelo seu potencial como planta daninha. Portanto, em estudos futuros seria interessante iniciar o período de avaliação a partir da terceira semana e se estender até a oitava semana com o intuito de realizar análise mais ampla do comportamento do crescimento em relação ao tempo.

Contudo, Benincasa (2003) ressalta que a análise de crescimento ainda constitui-se em uma ferramenta precisa e acessível para avaliar o crescimento das plantas e inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal. Os nutrientes minerais disponíveis à absorção das plantas, embora quantitativamente de menor expressão em relação ao acúmulo de biomassa, representam um fator essencial e indispensável ao crescimento e desenvolvimento do vegetal. Assim, existe uma estreita relação entre fotossíntese e nutrientes de tal forma que a deficiência de um prejudica o outro direta e /ou indiretamente.

6.3.4 Teor de nutrientes na planta

6.3.4.1 Teor de nitrogênio

Os teores de nitrogênio foram influenciados de forma expressiva em função dos diferentes níveis aplicados, o que resultou em comportamentos distintos de alocação deste nutriente (Figura 62). As plantas cultivadas na ausência deste nutriente apresentaram maiores teores na folha durante as quatro semanas iniciais, sendo maior aos 14 DAT e nos períodos seguintes mantiveram-se relativamente constante. No entanto, ao final das avaliações em relação aos 28 DAT, houve leve redução nas folhas e nos colmos (11 e 7,3%, respectivamente) e incremento no teor de N na raiz. A análise da concentração de N para esta solução nutritiva correspondente às duas últimas semanas, revelou valores de 2,6 e 1,3 mg L⁻¹ de N, os quais podem ser provenientes de exsudatos radiculares ou contaminação pela água utilizada no preparo da solução nutritiva. Assim, estes resultados talvez possam explicar o incremento no teor de nitrogênio na raiz, que não pode ser associado apenas a uma redistribuição de nitrogênio das folhas e colmos para as raízes, mas à interação destes fatores.

A adição de 25% de N à solução, propiciou comportamento semelhante entre raízes e colmos, porém nas folhas registrou-se teores que variaram entre 49 e 42,5 g Kg⁻¹, os quais foram 46,8 % superiores aos observados em raízes e colmos. Geralmente, altos teores de nitrogênio estão associados a altas taxas de fotossíntese máxima, sendo que a explicação para esta relação baseia-se na hipótese em que a maior quantidade de nitrogênio orgânico na folha

(acima de 75%) está presente nos cloroplastos, os quais representam grande parte do aparato fotossintético (Poorter & Evans, 1998).

Este comportamento pode ser observado quando são relacionados os teores de N na planta com as taxas de crescimento absoluto e relativo, sendo significativo apenas para a ausência deste nutriente e para o nível 75% (Figuras 63 e 64). Verifica-se que em condições limitantes de nitrogênio, os teores na planta apresentaram uma tendência a serem reduzidos com o aumento da velocidade média do crescimento (TCA) até determinado período de desenvolvimento (21 DAT).

No entanto, a partir deste período pode ocorrer aumento crescente com o incremento da TCA. Inicialmente, a redução nos teores de N pode estar relacionada com a baixa eficiência na utilização do N em função da menor disponibilidade deste nutriente, o que também resulta em baixas taxas fotossintéticas, com o aumento progressivo da velocidade média de crescimento.

Todavia, quando houve maior amplitude dos valores da TCA observada nas duas últimas semanas, houve uma tendência em aumentar o teor de N em função de um incremento na eficiência da conversão de N em biomassa. Ressalta-se que a adição de 75% de N na solução propiciou aumentos crescentes com a TCR, o que indica maior eficiência fotossintética em função da maior disponibilidade do nutriente.

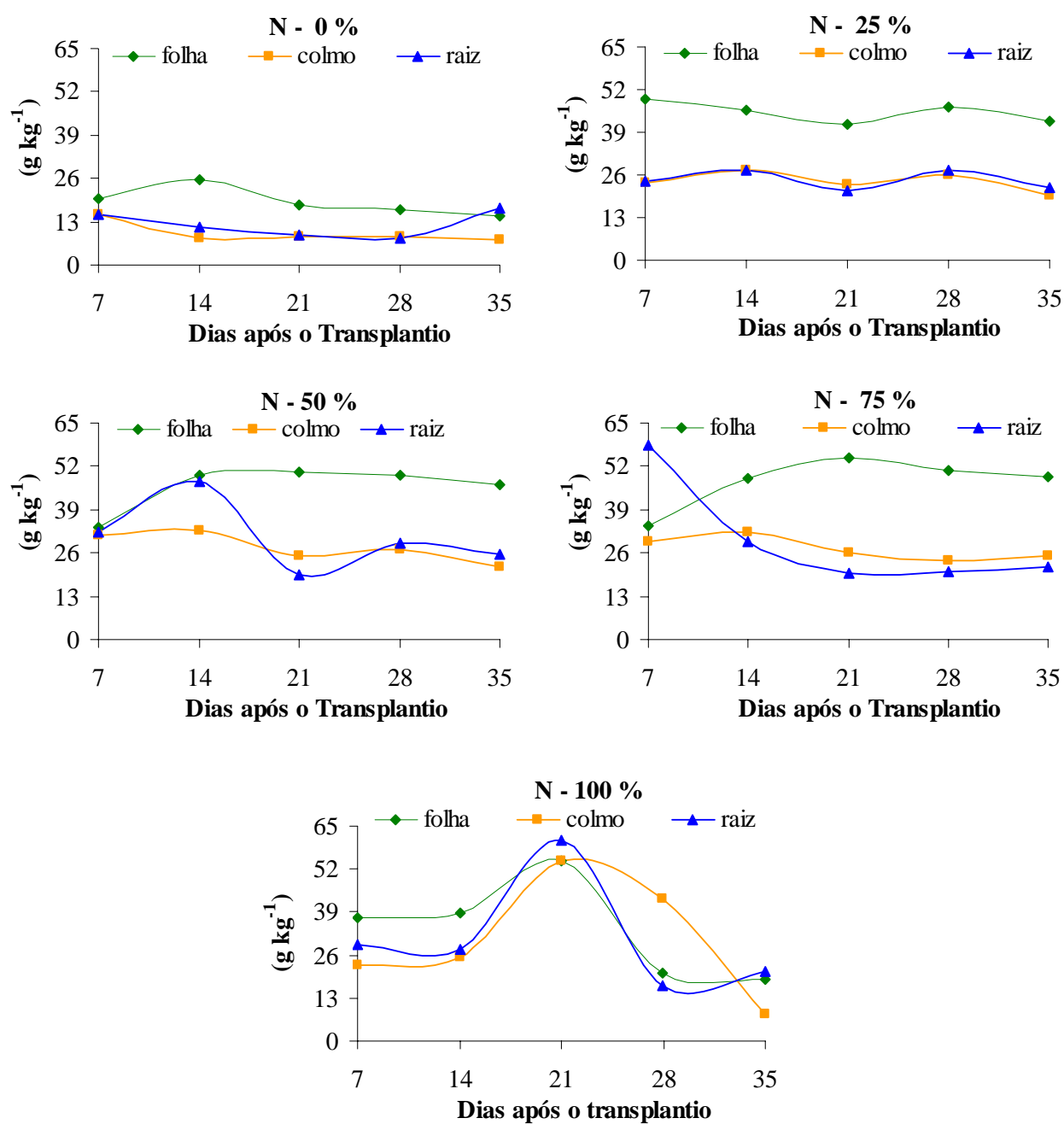


Figura 62. Alocação de nitrogênio em *Brachiaria subquadripara* em função do tempo em diferentes concentrações de nitrogênio na solução nutritiva. Botucatu/SP, 2006.

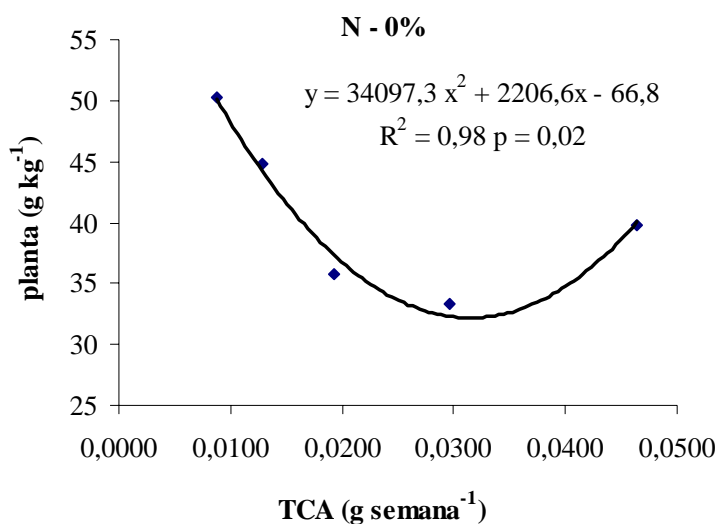


Figura 63. Teor de nitrogênio na planta em função da taxa de crescimento absoluto (TCA) sob o efeito da ausência de nitrogênio na solução. Botucatu/SP, 2006.

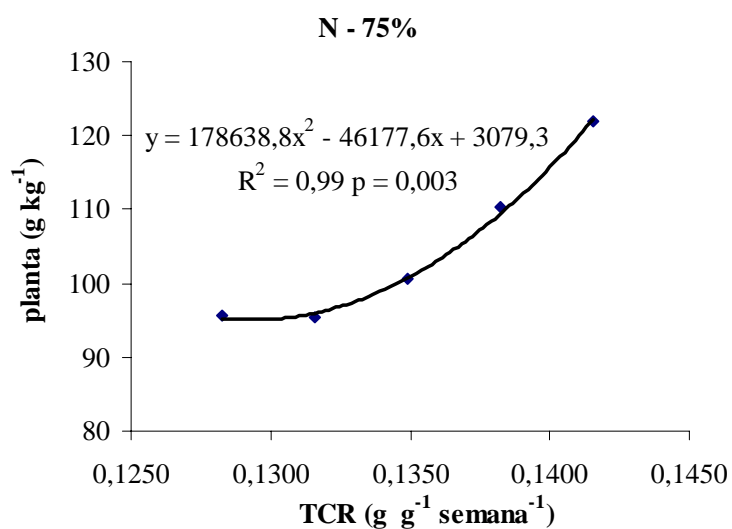


Figura 64. Teor de nitrogênio na planta em função da taxa de crescimento relativo (TCR) sob o efeito de 75% de nitrogênio na solução. Botucatu/SP, 2006.

Ainda em relação à alocação de N nas folhas e nos colmos referente aos níveis 50 e 75%, observou-se comportamento semelhante entre os mesmos, sendo diferenciados apenas quanto aos teores nas raízes (Figura 62). Nas duas semanas iniciais em relação à solução a 50% de N, os teores obtidos nas raízes foram similares aos observados nas folhas, porém com redução drástica aos 21 DAT. Provavelmente, esta redução está associada à possível translocação deste nutriente para manter estável os teores de N nas folhas após a segunda semana de cultivo. Enquanto a 75% de N, houve uma tendência em reduzir estes teores progressivamente até os 21 DAT e permanecer constante nos períodos consecutivos.

Contudo na Figura 62, também é possível observar que, na solução completa (100% de N), a alocação de N na planta apresentou comportamento similar entre os órgãos, sendo possível distinguir três fases de redistribuição deste nutriente durante o período avaliado. Inicialmente, observa-se que de maneira geral, o teor de N foi constante nas duas primeiras semanas. Aos 21 DAT houve maior teor de nitrogênio nas raízes, sendo observados teores equivalentes para folhas e colmos. No entanto, ocorreram reduções drásticas até os 28 DAT, momento em que o teor de N nos colmos foi superior ao observado nas raízes e folhas. Na última semana de avaliação, verificou-se que raízes e folhas permaneceram constantes, enquanto para os colmos ocorreu uma redução acentuada e contínua.

O estresse ambiental induz normalmente a mobilização de nitrogênio nas plantas e aumento da quantidade de aminoácidos e polipeptídeos, o que resulta em modificações na concentração e disponibilidade relativa de compostos nitrogenados nas plantas (Mooney et al., 1991).

Em condições limitantes de nitrogênio, *B. subquadripara* expressou ajustes na morfologia quanto à relação de biomassa foliar e biomassa total (RMF) em função do teor de nitrogênio presente na planta (Figura 65). Verificou-se que as plantas submetidas a estresse severo de nitrogênio, apresentam uma tendência a aumentar a biomassa foliar em relação ao total de biomassa produzida na planta em função do acúmulo de nitrogênio durante o estágio de crescimento. Este comportamento quadrático talvez possa ser alterado dependendo do estado nutricional da planta presente no início do desenvolvimento. Entretanto, observa-se que a indução da maior produção de biomassa foliar em função do teor de N na planta, talvez, possa estar relacionada ao fato de que a maior reserva de N destinou-se às folhas como estratégia de competição para aumentar a eficiência fotossintética. Assim, esta espécie

demonstrou elevado potencial de colonização em função de sua plasticidade em condições estressantes de N para garantir o crescimento da planta com o aumento da capacidade fotossintética e priorização da alocação de N no tecido foliar.

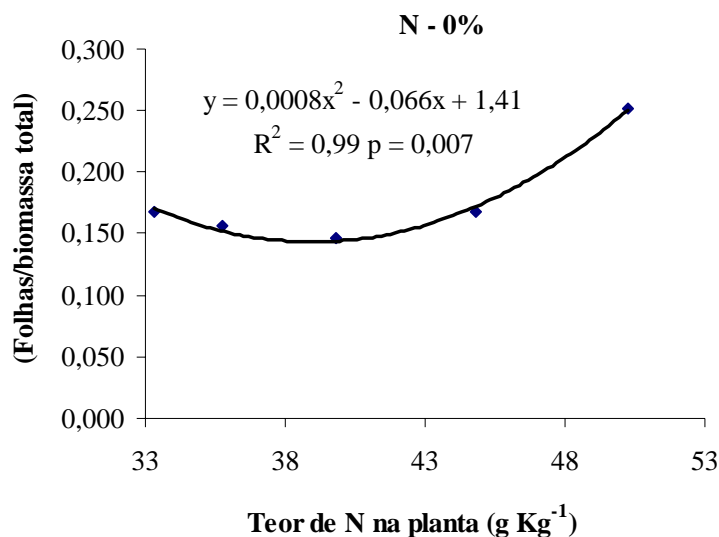


Figura 65. Razão de massa foliar de *Brachiaria subquadripara* em função do teor de nitrogênio na planta sob o efeito da ausência de nitrogênio na solução. Botucatu/SP, 2006.

Stuart (1986) relata que a taxa de absorção de nutrientes pelas plantas depende essencialmente do nível de suprimento de nutrientes (amplamente determinado pela mineralização da matéria orgânica a exemplo do N e P) e do potencial de absorção da planta. Contudo, a demanda da planta que varia entre os diferentes estágios de desenvolvimento geralmente constitui-se em um importante fator determinante da taxa de absorção do que em relação ao suprimento de nutrientes. Já, em relação ao potencial de absorção de nutrientes, está relacionado à quantidade de nutrientes absorvidos na superfície radicular, bem como à atividade destas raízes.

6.3.4.2 Teor de fósforo

De maneira geral, em relação à ausência de fósforo na solução os teores de P foram decrescentes em função do crescimento da planta (Figura 66). Verificou-se que, inicialmente,

as raízes apresentavam maior teor de fósforo e que ao longo do tempo foi redistribuído para os colmos e folhas ao final do período avaliado.

Já, na solução a 25% de P entre os períodos de 7 a 14 DAT, observa-se que a reserva de P na planta apresentou-se em ordem decrescente nos colmos, folhas e raízes. Ressalta-se, ainda, em relação a este período, que a adição de 25% de P na solução não foi suficiente para manter estáveis os teores deste nutriente na folha, assim, como observado nos colmos e nas raízes. Todavia, as reservas deste nutriente nos colmos e raízes apresentam decréscimo progressivo em relação ao tempo e aumento nos teores presentes nas folhas, principalmente aos 28 DAT.

Em resposta ao aumento das concentrações de fósforo, entre 7 a 14 DAT observou-se que os teores nas raízes diminuíram significativamente e mantiveram-se constantes nos períodos consecutivos, exceto para 50 % de P. Os teores nas folhas apresentaram valores relativamente constantes em função do tempo e superiores aos observados nos colmos e raízes, exceto aos 21 DAT, quando houve redução nas folhas das plantas cultivadas a 100% de P. Quanto aos colmos, verificou-se que os maiores teores foram registrados entre 7 a 14 DAT, correspondentes a 1,6; 7,3; 5,6 e 7,5 g Kg⁻¹ para 0, 25, 50 e 75% de P, respectivamente. A solução completa apresentou teores maiores nos colmos aos 21 DAT (6,7 g Kg⁻¹).

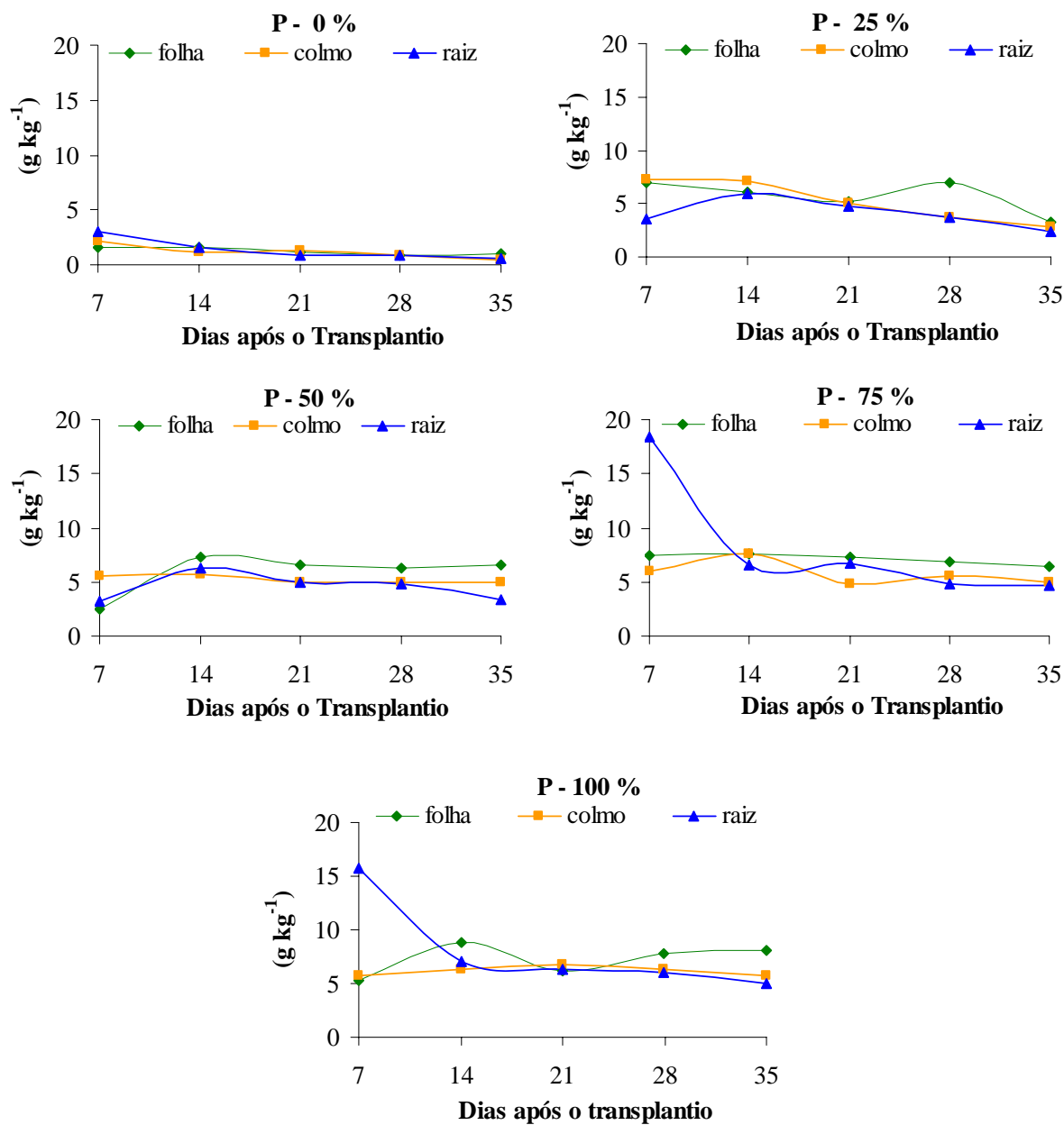


Figura 66. Alocação de fósforo em *Brachiaria subquadriflora* em função do tempo em diferentes concentrações de fósforo na solução nutritiva. Botucatu/SP, 2006.

Observou-se também para o fósforo, que houve uma relação significativa entre razão de biomassa foliar e teor de P na planta, a qual expressou tendência linear (Figura 67). Este fato permite inferir que em condições limitantes de fósforo, a planta prioriza a produção de folhas. Foyer & Galtier (1996) ressaltaram que a produção de biomassa expressa o ganho de carbono, o qual é regulado pela relação das taxas de fotossíntese e respiração. Os pesquisadores, ainda, destacaram que o acúmulo de biomassa está correlacionado negativamente com a respiração nas folhas, o que pode resultar em processos que não contribuem para o crescimento da planta e nem sempre está associada à produção de ATP.

No entanto, o incremento na produção de folhas em função do teor de P na planta observado no presente estudo, revelou a participação ativa do fósforo na conversão de recursos absorvidos em biomassa fotossintetizante. Contudo, Jones & Coleman. (1991) relataram as modificações da planta em relação às características bioquímicas, anatômicas e fisiológicas das folhas que podem variar dependendo do tipo, severidade, duração e combinação de estresse, o que resulta em diferentes graus de interferência no balanço carbono-nutriente. Portanto, sugere-se que o período avaliado não foi suficiente para *B. subquadripara* expressar sintomas críticos de deficiência de fósforo, embora a biomassa total e o teor deste nutriente apresentaram reduções em relação às soluções com maior concentração de fósforo.

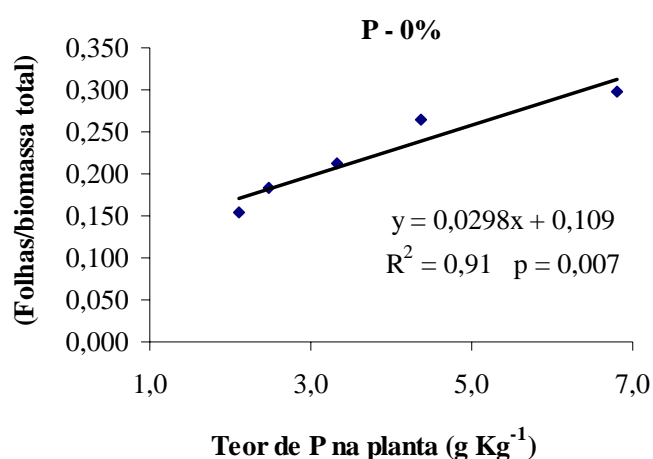


Figura 67. Razão de massa foliar de *Brachiaria subquadripara* em função do teor de fósforo na planta. Botucatu/SP, 2006.

6.3.4.3 Teor de potássio

O potássio assim como o nitrogênio são nutrientes minerais requeridos em maiores quantidades pelas plantas e a demanda considerada ótima para o crescimento varia entre 2 a 5% da biomassa seca da planta (Marschner, 1986). No presente estudo, independente dos níveis aplicados, observou-se na primeira semana que a análise dos teores nos colmos revelaram sintomas de deficiência, uma vez que, os teores foram menores que 2% na biomassa seca (Figura 68).

No entanto, verifica-se que o estado nutricional nas plantas cultivadas a 25% de K foi superior ao observado em níveis mais concentrados de potássio, o que permite inferir a hipótese de um processo de absorção mais rápido em ambientes com menores concentrações ($15,6 \text{ mg L}^{-1}$). Este fato pode ser explicado pela competição entre íons de potássio pelos sítios de absorção da planta que pode ocorrer quando há maior diferença de potencial osmótico entre a zona radicular e interior das células das raízes, o que resulta em um processo de absorção mais lento. Marschner, (1986) relata que o potássio é o cátion mais abundante no citoplasma e associado em compostos formados por ânions possui a função de regular o potencial osmótico das células e tecidos das plantas.

A ausência de potássio propiciou níveis críticos de deficiência em todos os órgãos da planta, pois os teores observados foram menores que 1% da biomassa seca. Entretanto, a demanda pelo potássio nas folhas e raízes foi crescente a partir da segunda semana, momento em que houve redução no teor de potássio nos colmos, porém, sempre apresentou maior teor em relação aos outros órgãos. Em condições limitantes de potássio, os sintomas mais típicos referem-se ao atraso no crescimento, aumenta a redistribuição de potássio de folhas mais velhas e colmos, sendo que em severa deficiência estes órgãos apresentam clorose e necrose, dependendo da intensidade de luz incidente nas folhas (Marschner, 1986).

De maneira geral, o aumento da concentração de potássio à solução, exceto para 100% de K, resultou em comportamentos semelhantes expressos pelas plantas. Quanto ao observado nos colmos houve maior absorção entre 7 a 21 DAT e redução no período seguinte, quando verificou-se maior acúmulo nas folhas do que nos colmos das plantas cultivadas a 25 e 50% de K. Na solução a 75% de K notou-se incrementos progressivos nas folhas até o final do período avaliado, porém não foram superiores em relação aos teores nos colmos.

Ressalta-se que os teores observados nas raízes das plantas cultivadas na solução a 25% de K foram constantes durante as três primeiras semanas sendo registrada uma amplitude de 0,5 a 0,6% na biomassa seca, o que indica rápida translocação para atender a demanda nas folhas e colmos. No entanto, aos 28 DAT, observou-se maiores teores de K nas raízes das plantas submetidas aos níveis 25 a 75% de K, as quais apresentaram reduções drásticas ao final do período avaliado.

Na solução completa em função da maior concentração de potássio, aos 21 DAT resultou em teores excessivos de K nas raízes (6,3%) em relação ao teor máximo observado nos demais níveis (2 a 3%). Este fato permite inferir que as plantas expressaram consumo de luxo, sendo importante ressaltar que pode ter influenciado talvez de forma negativa na absorção e disponibilidade fisiológica de cálcio e magnésio. Marschner, (1986) relatou que o consumo de luxo de potássio pode ocorrer freqüentemente em plantas quando o suprimento de potássio é abundante, o que afeta a interação entre cátions bivalentes como cálcio e magnésio. As conseqüências desta interferência resultaram em efeitos negativos no crescimento e produção de biomassa obtidos nestas condições hipereutróficas.

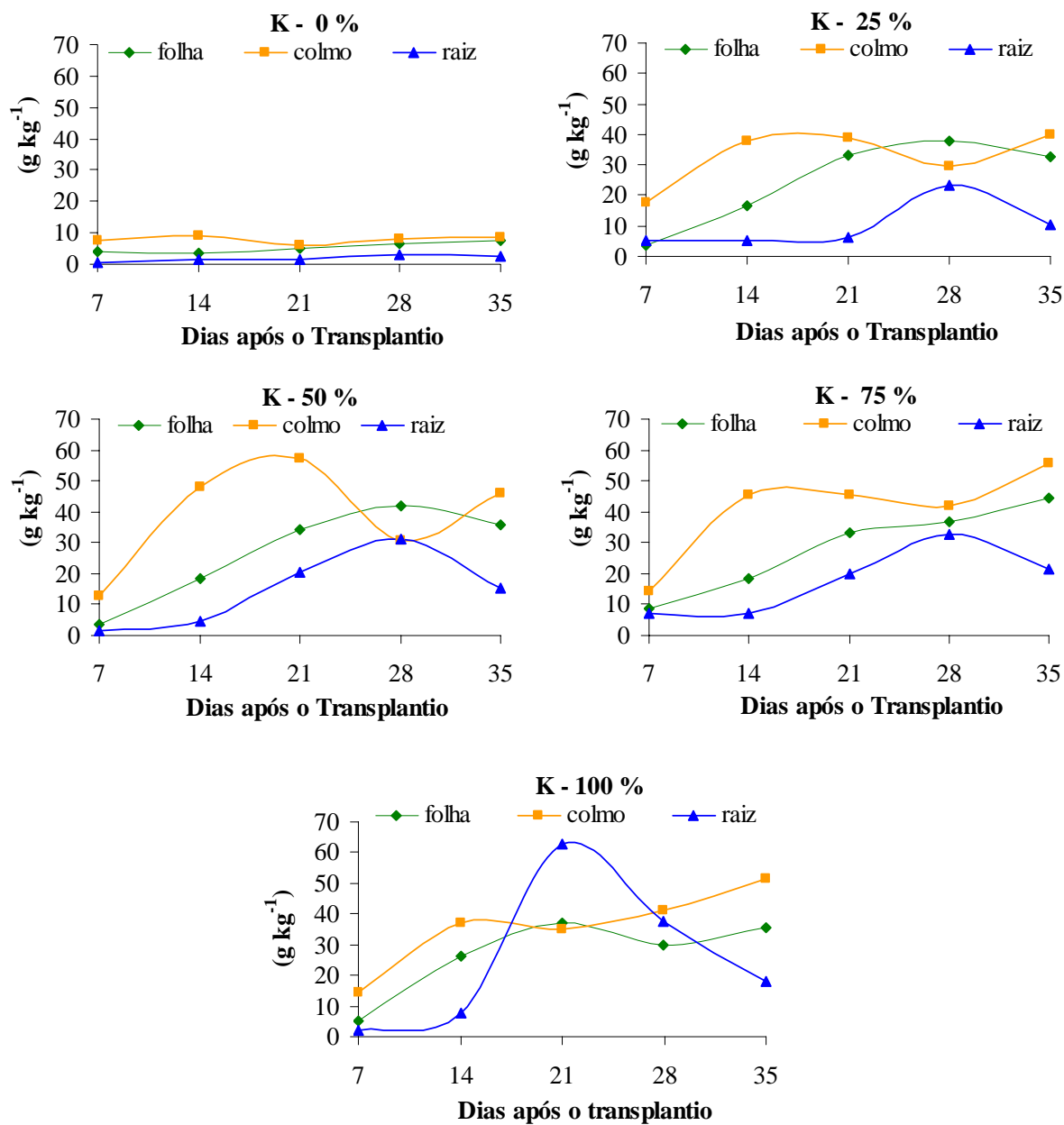


Figura 68. Alocação de potássio em *Brachiaria subquadriflora* em função do tempo e diferentes concentrações de potássio na solução nutritiva. Botucatu/SP, 2006.

A alocação de nutrientes nos diferentes órgãos da planta apresentou oscilações freqüentes dependendo das condições nutricionais durante o período avaliado, o que não permitiu o ajuste dos dados aos modelos de regressão. No entanto, houve significância em determinados níveis de nutrientes testados (Tabela 31).

Tabela 31. Equações de regressão referente ao teor de nutrientes correspondente ao tratamento e a biomassa de *Brachiaria subquadripara*. Botucatu/SP, 2006.

Biomassa	Tratamento	Teor	Equação	R ²	p
Raiz	N – 75%	Nitrogênio	$y = 75,87 e^{-0,0513 x}$	0,83	0,032
	P – 0%	Fósforo	$y = 4,90 e^{-0,0726 x}$	0,96	0,004
	P – 75%	Fósforo	$y = 27,61 e^{-0,0702 x}$	0,86	0,023
Colmo	K – 0%	Potássio	$y = 0,089x + 0,0695$	0,84	0,028
	P – 0%	Fósforo	$y = 2,86 e^{-0,0472 x}$	0,91	0,011
	K – 100%	Potássio	$y = 1,46x + 0,587$	0,94	0,007
Folha	P – 0%	Fósforo	$y = 1,96 e^{-0,0233 x}$	0,82	0,034
	P – 75%	Fósforo	$y = -0,04x + 7,96$	0,88	0,020
	K – 0%	Potássio	$y = 2,73 e^{0,0294 x}$	0,93	0,008
	K – 75%	Potássio	$y = 1,28x + 1,444$	0,96	0,003

6.3.5 Acúmulo de nutrientes

6.3.5.1 Acúmulo estimado em 1.000 plantas (parte emersa)

O acúmulo de nitrogênio pelas plantas apresentou resposta exponencial e crescente com o aumento dos níveis do nutriente na solução, sendo o valor máximo estimado aos 35 DAT e equivalente a 793,2 g de N em 1.000 plantas de *Brachiaria subquadripara* cultivadas a 50% de N (Figura 69).

As curvas de ajuste para o acúmulo dos macronutrientes na parte emersa ao longo do período de desenvolvimento da planta, revelaram que houve tendência crescente até ao final do período avaliado (Figura 69). No entanto, observou-se que o acúmulo foi considerado lento

até os 21 DAT, sendo que após este período foi crescente e rápido, exceto para o nível 100% de N, na qual registrou-se redução no acúmulo de N a partir dos 28 DAT.

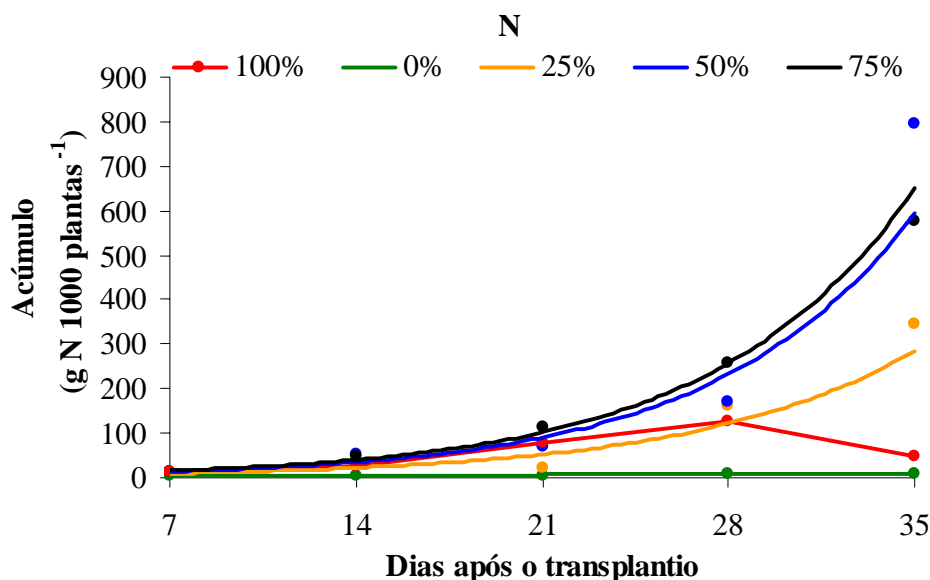


Figura 69. Acúmulo de nitrogênio na parte emersa de plantas de *Brachiaria subquadrifera* sob o efeito de diferentes níveis de nitrogênio. Botucatu/SP, 2006.

Os acúmulos de fósforo na parte emersa (Figura 70), observados nos períodos iniciais 7 a 21 DAT, foram semelhantes entre os níveis testados. Nos períodos consecutivos constatou-se comportamentos diferentes nas plantas cultivadas apenas a 50 e 100% de P, os quais apresentaram resposta exponencial e linear, sendo o maior valor estimado de 85,9 g de P em 1.000 plantas de *Brachiaria subquadrifera* cultivadas na solução a 50% de P.

O potássio foi o nutriente mais absorvido pelas plantas e conseqüentemente com maior acúmulo (Figura 71). Observou-se maior acúmulo estimado no nível de 50% de N (793,2 g de N por 1000 plantas), que não superou o resultado obtido pelas plantas cultivadas na solução a 50% de K (827,2 g de K por 1000 plantas).

O acúmulo de nutrientes é um produto do teor do nutriente na parte emersa pela biomassa seca, o que pode justificar o menor acúmulo de macronutrientes na solução completa. Este fato possivelmente está relacionado à produção de biomassa seca que apresentou redução em relação aos demais níveis testados, talvez, em função das condições

nutricionais instáveis que propiciou interações entre os nutrientes desfavoráveis ao crescimento da planta.

O comportamento da planta em relação à absorção dos macronutrientes nestas condições pode ser observado no monitoramento das concentrações dos mesmos na solução nutritiva, que revelou uma absorção lenta durante 7 dias de cultivo (intervalo de troca da solução) em cada estágio de desenvolvimento da planta. Assim, para ilustrar esta hipótese, constatou-se aos 35 DAT nas soluções dos níveis 25 e 50% que houve redução (71,4 e 25,4 %, respectivamente) na concentração de N na solução nutritiva (Tabela 22) em relação às concentrações iniciais, enquanto para os níveis 75 e 100% de N foram registradas reduções de 12,4 e 12,8%. Verificou-se para o fósforo que aos 35 DAT houve maior redução na concentração de P nas soluções nutritivas de 25 a 100% (90,3, 91,9, 59,1 e 15,7). Quanto ao potássio, aos 28 e 35 DAT foram observadas reduções mais acentuadas na concentração de potássio na solução (Tabela 24), referentes a 99,2 e 76,9% para o nível 25% e, para o nível 50%, registrou-se 74,2 e 82,4%. Estes resultados expressam o processo de absorção de potássio que foi mais rápido nestas concentrações testadas, bem como a demanda da planta nos últimos períodos avaliados.

Na Tabela 32 estão apresentadas as equações de regressão referentes aos acúmulos de N, P e K em função dos diferentes níveis dos respectivos macronutrientes testados. Assim, os acúmulos de macronutrientes na parte emersa das plantas de *B. subquadripara* revelaram a exigência da espécie em função da demanda da planta que pode ser expressa pela seguinte ordem: $K > N > P$. As soluções a 50%, independente do nutriente testado, propiciaram maiores acúmulos de macronutrientes, o que sugere condições mais favoráveis ao desenvolvimento da planta.

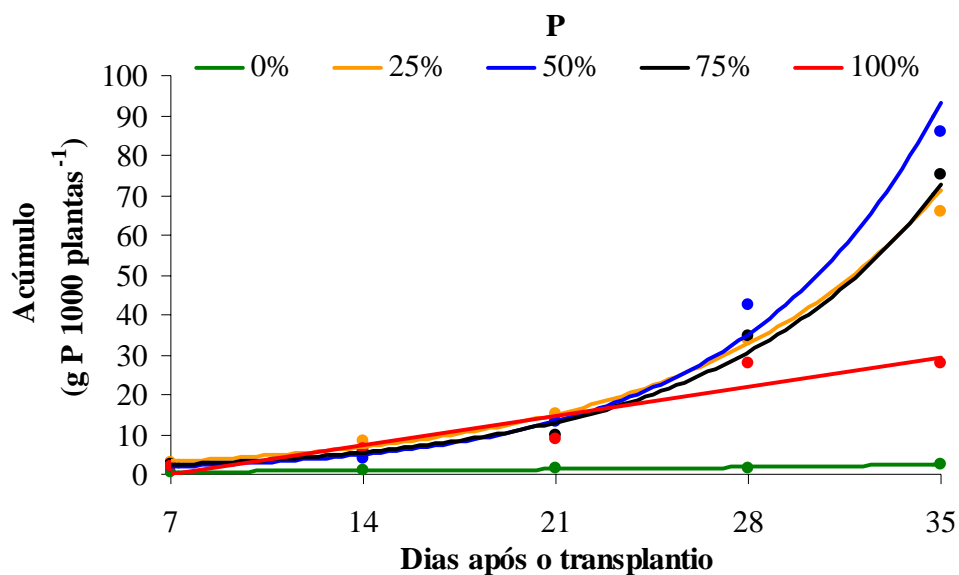


Figura 70. Acúmulo de fósforo na parte emersa de plantas de *Brachiaria subquadriflora* sob o efeito de diferentes níveis de fósforo. Botucatu/SP, 2006.

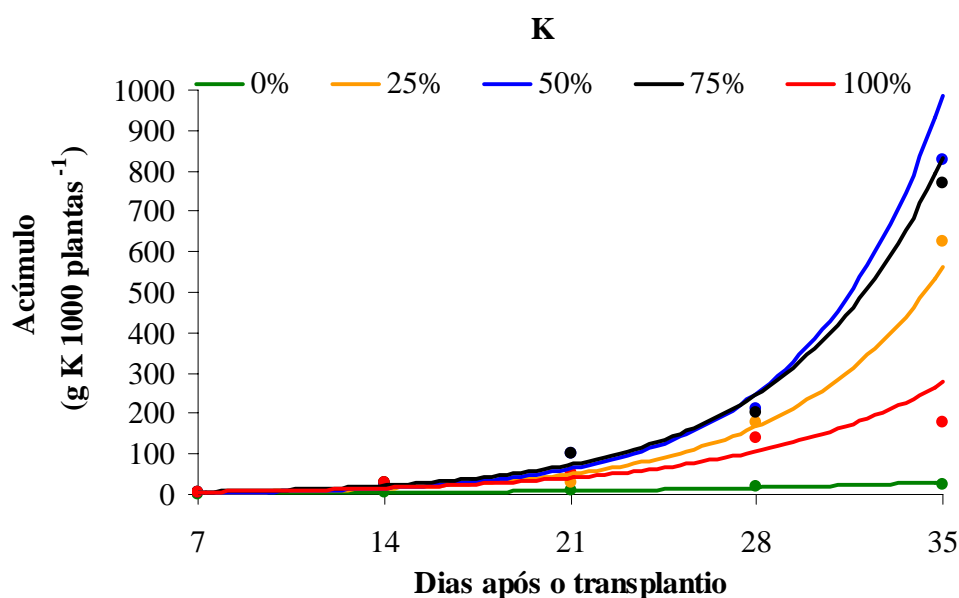


Figura 71. Acúmulo de potássio na parte emersa de plantas de *Brachiaria subquadriflora* sob o efeito de diferentes níveis de potássio. Botucatu/SP, 2006.

Tabela 32. Equações de regressão referente ao acúmulo de níveis de nitrogênio, fósforo e potássio na parte emersa de plantas de *B. subquadripara* sob o efeito de diferentes níveis de N, P e K. Botucatu/SP, 2006.

Biomassa	Nível	Equação	R ²	p
N	0%	$y = 3,352 e^{0,0316 x}$	0,93	0,008
	25%	$y = 3,498 e^{0,131 x}$	0,98	0,002
	50%	$y = 0,599 e^{0,205 x}$	0,99	< 0,001
	75%	$y = 9,958 e^{0,116 x}$	0,99	< 0,001
P	0%	$y = 0,576 e^{0,0396 x}$	0,92	0,009
	25%	$y = 1,933 e^{0,101x}$	0,99	< 0,001
	50%	$y = 1,306e^{0,120 x}$	0,99	< 0,001
	75%	$y = 0,993 e^{0,124 x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 1,036x - 7,19$	0,87	0,022
K	0%	$y = 2,255 e^{0,0705 x}$	0,98	0,001
	25%	$y = 0,924 e^{0,186x}$	0,99	< 0,001
	50%	$y = 1,469 e^{0,181 x}$	0,99	< 0,001
	75%	$y = 1,687 e^{0,175 x}$	0,99	< 0,001
	100%	$y = 11,738 e^{0,079 x}$	0,92	0,011

6.3.5.2 Acúmulo estimado em relação à área de infestação

O acúmulo de macronutrientes na parte emersa das plantas cultivadas em solução nutritiva foi relacionado à densidade populacional estimada em condições de campo e está apresentado nas Figuras 72, 73 e 74. Verificou-se na primeira semana para os níveis de nitrogênio testados que a absorção foi mais rápida a 25% de N e apresentou valores relativamente constantes até os 28 DAT, a partir do qual apresentou redução no acúmulo de N.

Os níveis 50 e 75% de N propiciaram acúmulos semelhantes entre si e com poucas variações durante o período avaliado, exceto para a redução observada nas plantas cultivadas a 50% de N (Figura 72). A estimativa do acúmulo de N em 500g de biomassa por m², talvez não possa ser considerada para a concentração referente a 100% da solução de N, uma vez que,

nesta concentração de N foram constatadas condições nutricionais desfavoráveis à produção de biomassa de *B. subquadripara*.

Portanto, os valores estimados para o nível 100% de N na terceira semana foram superiores aos obtidos nos demais níveis, em função do maior teor de N registrado neste período. Este fato resultou em valores superestimados, uma vez que a quantidade de biomassa produzida nesta solução mais concentrada de N foi afetada em comparação aos demais níveis. Portanto, a estimativa de acúmulo para metro quadrado para o nível 100% não concorda com o observado. Em condições limitantes de N, os acúmulos foram decrescentes durante o desenvolvimento da planta e oscilou entre 17,5 a 11,3 g de nitrogênio por metro quadrado.

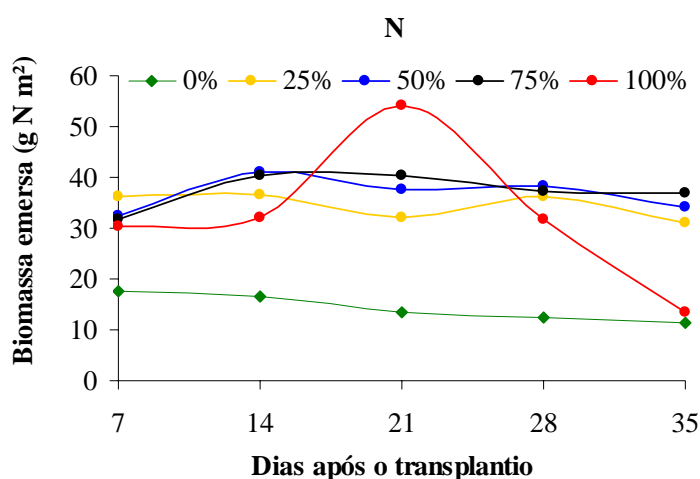


Figura 72. Acúmulo de nitrogênio na biomassa emersa de *Brachiaria subquadripara* em relação à densidade média de campo, estimada em função de diferentes níveis de nitrogênio. Botucatu/SP, 2006.

Quanto ao fósforo (Figura 73), as soluções de menor concentração (0 e 25% de P) apresentaram decréscimos progressivos durante o período avaliado. Já, entre os níveis 50, 75 e 100% de P observou-se maior acúmulo aos 14 DAT correspondentes a 6,5, 7,5 e 7,6 g de fósforo m^{-2} . No entanto, em relação aos períodos consecutivos registrou-se poucas oscilações nos acúmulos, os quais apresentaram médias entre os períodos de 5,7, 6,0 e 6,8 g de fósforo m^{-2} .

Os acúmulos de potássio foram crescentes até os 21 DAT e no período seguinte apresentaram valores constantes, exceto para a solução a 50% de K, a qual propiciou redução acentuada no acúmulo de K (Figura 74). Ao final do período avaliado, observou-se acréscimos na quantidade acumulada de potássio na parte emersa, provavelmente pelo aumento do teor deste nutriente.

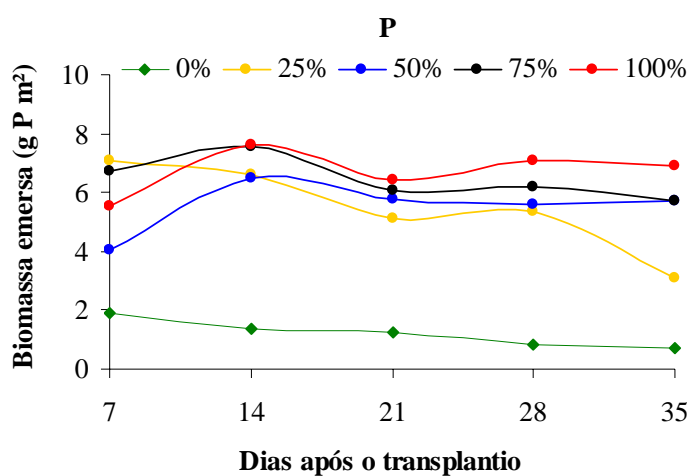


Figura 73. Acúmulo de fósforo na biomassa emersa de *Brachiaria subquadripara* em relação à densidade média de campo, estimada em função de diferentes níveis de fósforo. Botucatu/SP, 2006.

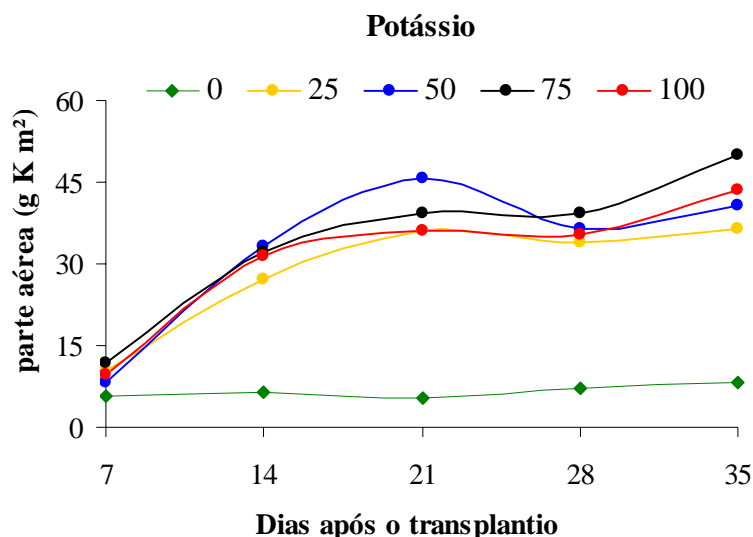


Figura 74. Acúmulo de potássio na parte emersa de *Brachiaria subquadriflora* em relação à densidade média de campo, estimada em função de diferentes níveis de potássio. Botucatu/SP, 2006.

6.3.6 Acúmulo de nutrientes em relação à área média de infestação referente ao ambiente de ocorrência

Os processos de absorção e acúmulo de macronutrientes na biomassa das plantas que se desenvolvem no habitat natural são influenciados por um sistema complexo de fatores bióticos e abióticos que modificam a resposta da planta dependendo das condições do meio presente no estágio de crescimento.

Na primeira época (Figura 75), verificou-se que os acúmulos de potássio foram superiores aos observados para o nitrogênio em dez populações amostradas, exceto para as populações 9, 13, 16 e 28. A proporção de acúmulo de potássio em relação ao nitrogênio apresentou amplitude de 1,0 a 1,4 e para as populações 9, 13, 16 e 28 foram encontrados valores de 0,9, 0,7, 0,9 e 0,9 respectivamente. Já, a relação N/P para os acúmulos na biomassa da parte emersa foram maiores (16,3 a 25,7) nas plantas amostradas das populações (14 a 26) presentes no Rio Piracicaba, sendo que maiores acúmulos de nitrogênio foram registrados na população 16. No entanto, a maior relação N/P foi observada na população 28 localizada no

Rio Tietê em frente à barragem, o que sugere maior concentração de nitrogênio na água referente a este ponto amostrado.

Observou-se, ainda, que as populações 19 a 28 apresentaram menores acúmulos de fósforo na biomassa da parte emersa das plantas.

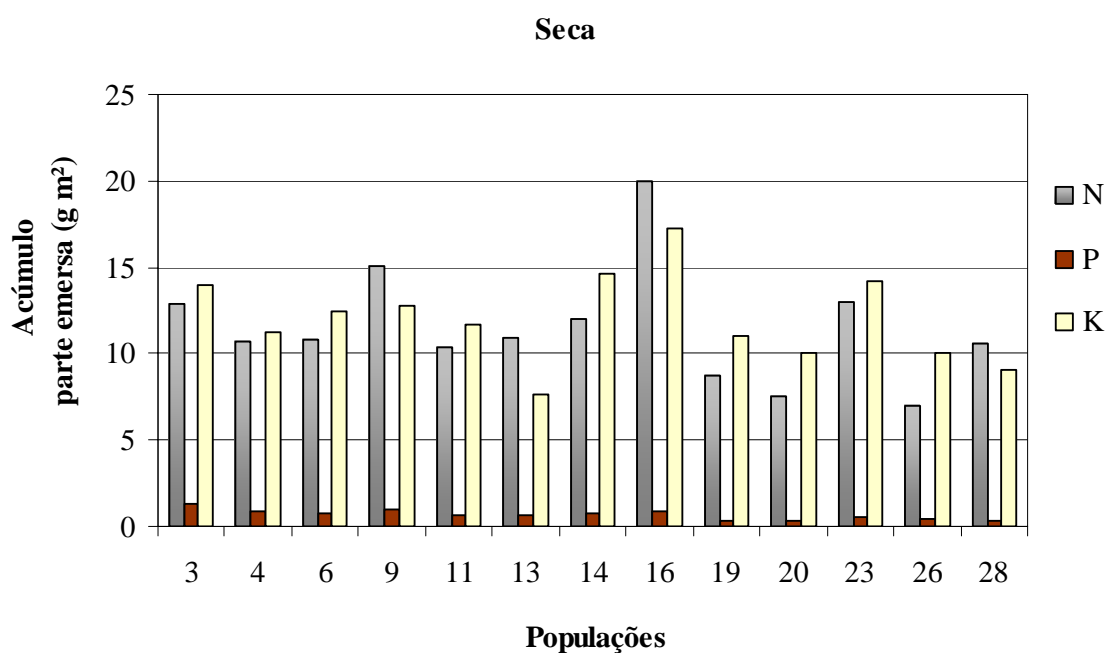


Figura 75. Acúmulo de macronutrientes na parte emersa de plantas de *Brachiaria subquadripara* coletadas no reservatório de Barra Bonita/SP, estimado por área em diferentes populações amostradas no período de seca. Botucatu/SP, 2006.

Na segunda época (Figura 76), nota-se que os acúmulos de potássio foram semelhantes ou superiores aos registrados para o nitrogênio, pois as relações K/N oscilaram entre 1,0 a 4,2, exceto para as populações 3, 6 e 23 (0,98; 0,87 e 0,85, respectivamente) que indicaram maiores acúmulos de N. A população 19 apresentou os maiores acúmulos de potássio na biomassa da parte emersa (24,6 g m⁻²), que foram superiores aos observados na primeira época para a população 16, a qual obteve os maiores acúmulos de K (17,3 g m⁻²).

Contudo, a relação N/P referente aos acúmulos destes nutrientes foi diversificada entre as populações amostradas, porém ressalta-se que o nitrogênio foi acumulado em maiores proporções em relação ao fósforo nas populações 3, 14, 16 e 19 (22,7; 19,9; 22,7 e 20,2, respectivamente). Entretanto, as populações 4, 26 e 28 apresentaram os menores valores da relação N/P (8,1; 8,2 e 2,9, respectivamente).

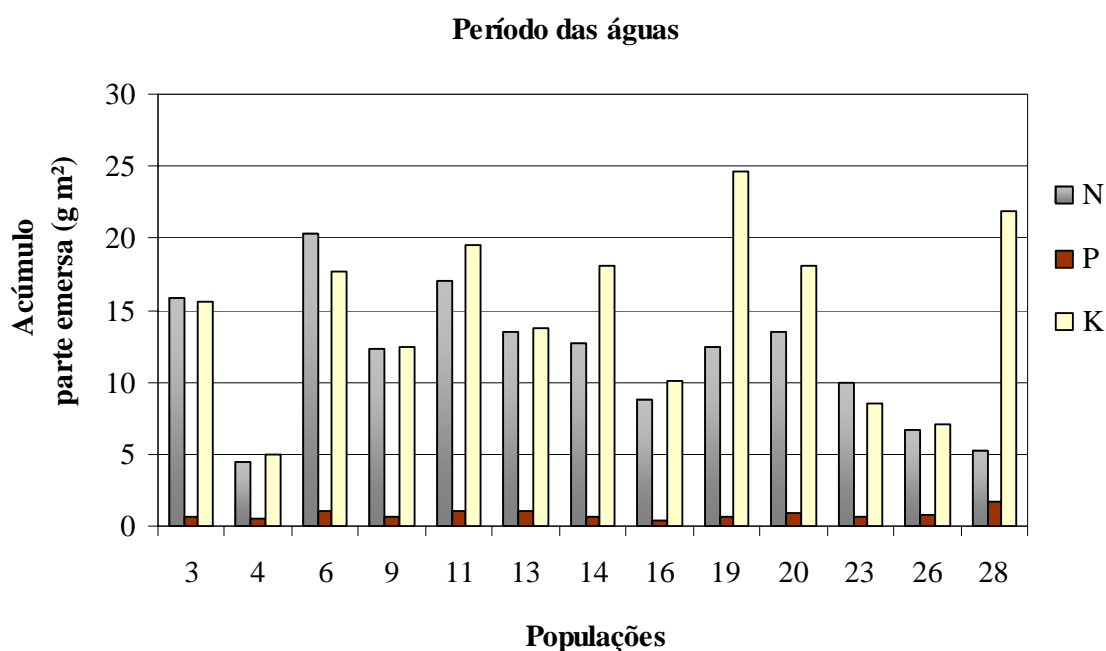


Figura 76. Acúmulo de macronutrientes na parte emersa de plantas de *Brachiaria subquadripara* coletadas no reservatório de Barra Bonita/SP, estimado por área em diferentes populações amostradas na estação das águas. Botucatu/SP, 2006.

A variação sazonal do acúmulo dos macronutrientes analisados entre as populações que colonizavam os Rios Tietê e Piracicaba está representada nas Figuras 77, 78 e 79. Verificou-se, na estação seca, que os maiores acúmulos de nitrogênio foram estimados na biomassa emersa das populações 6, 11 e 20. Entretanto, observou-se maiores amplitudes de variação no acúmulo de N na biomassa emersa das populações 4, 16 e 28, as quais apresentaram na estação das águas incrementos de 139,8, 127,5 e 103,5 %.

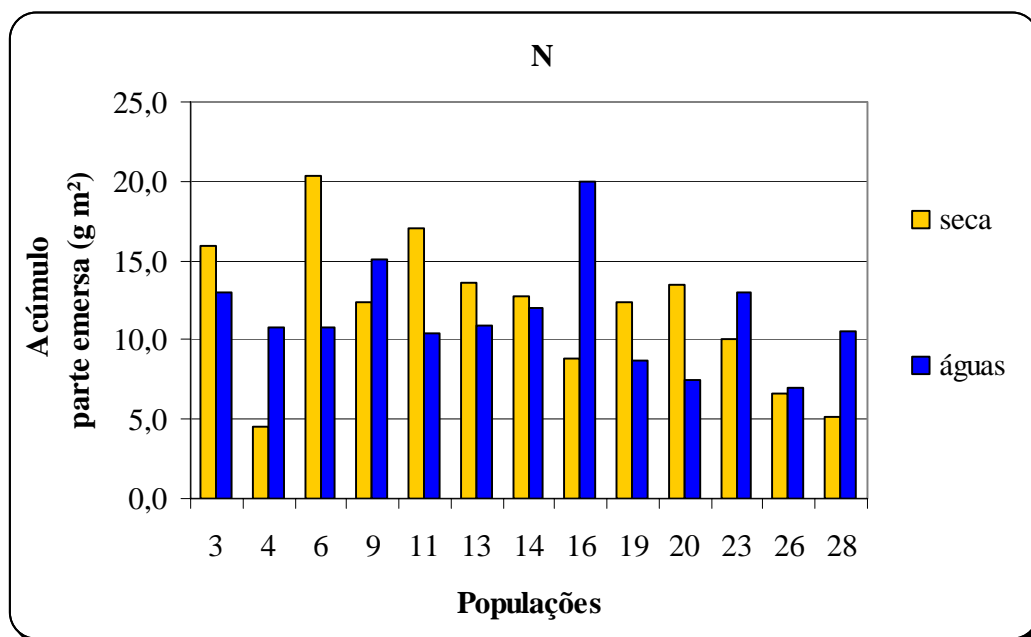


Figura 77. Acúmulo de nitrogênio na biomassa emersa de *Brachiaria subquadripara* coletadas no reservatório de Barra Bonita/SP, estimado por área em diferentes populações amostradas na estação seca e das águas. Botucatu/SP, 2006.

Quanto ao fósforo, ressalta-se que as populações 3, 16 e 28 apresentaram maior amplitude de variação no acúmulo de fósforo entre as estações avaliadas, as quais na estação das águas foram registrados incrementos de 94 e 124,4 % bem como reduções de 79,4%, respectivamente.

De maneira geral, os acúmulos de fósforo na biomassa emersa na estação das águas foram menores em relação à estação seca, sendo encontrados valores entre 0,4 e 0,8 g m⁻². Enquanto as populações 3, 4 e 16 apresentaram acréscimos no acúmulo de P na estação das águas.

O acúmulo de potássio na parte emersa das plantas foi maior na estação seca, exceto para as populações 4, 16, 23 e 26. Entretanto, na estação das águas observou-se reduções nos acúmulos de P que revelou uma amplitude de variação de 1,5 a 24,6% e incrementos de 2,6 e 3,6% para as populações 19 e 28.

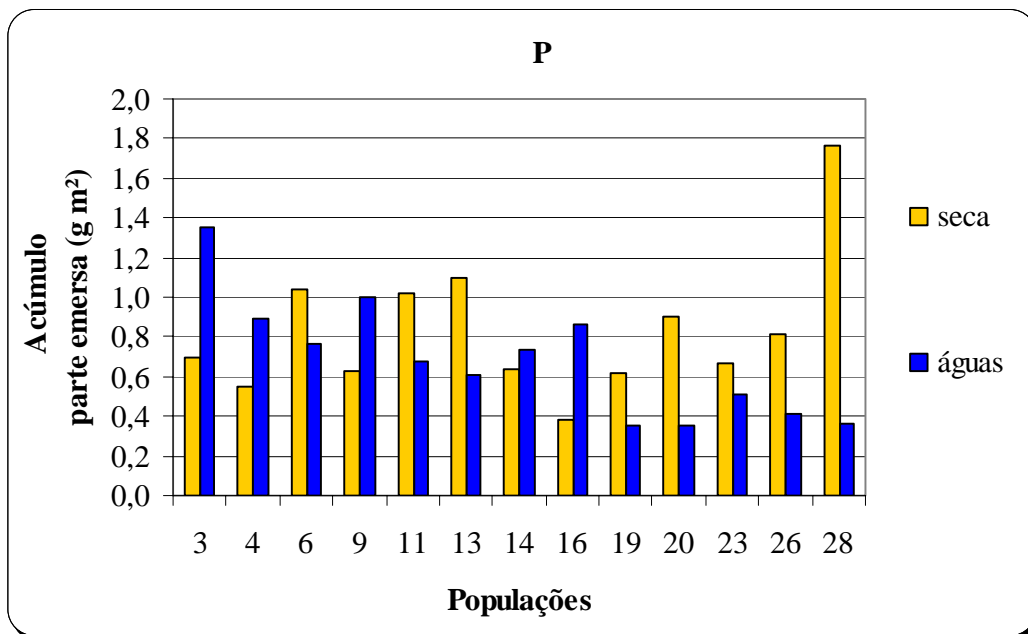


Figura 78. Acúmulo de fósforo na biomassa emersa de *Brachiaria subquadripara* coletadas no reservatório de Barra Bonita/SP, estimado por área em diferentes populações amostradas na estação seca e das águas. Botucatu/SP, 2006.

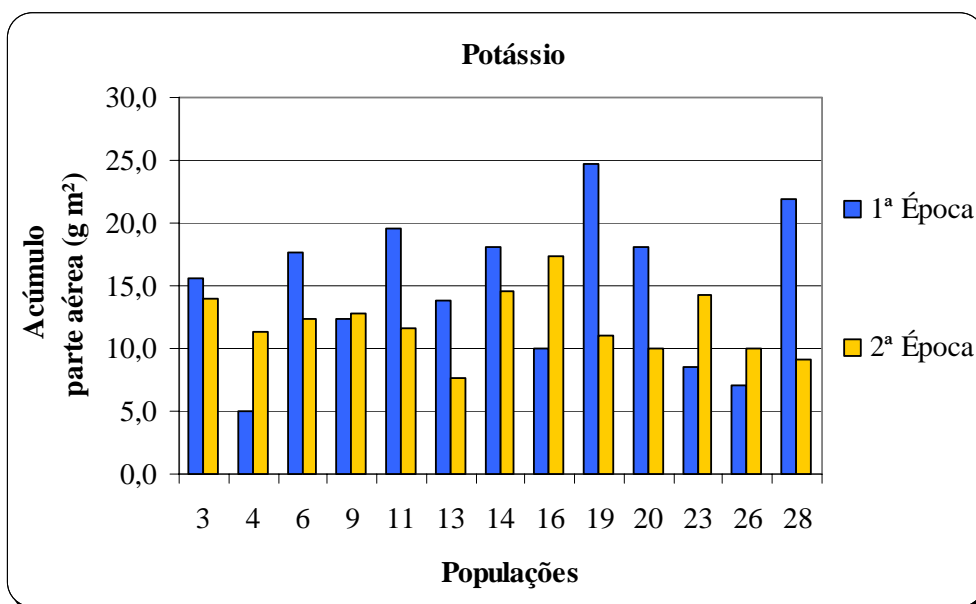


Figura 79. Acúmulo de potássio na biomassa emersa de *Brachiaria subquadripara* coletadas no reservatório de Barra Bonita/SP, estimado por área em diferentes populações amostradas na estação seca e das águas. Botucatu/SP, 2006.

O estudo do crescimento de plantas de *B. subquadripara* tanto em campo como em condições controladas, revelaram semelhanças no comportamento da espécie em relação às condições nutricionais do ambiente de crescimento. Para ilustrar esta afirmativa, verificou-se que a ordem de absorção de nutrientes (K>N>P) em termos de demanda foi similar nas duas condições independente da variação sazonal observada em campo.

Contudo, no ambiente de ocorrência existem vários fatores abióticos (pH do solo e da água, Temperatura e condutividade elétrica da água) e bióticos (ação de microorganismos, interações com outras espécies vegetais da comunidade) que podem influenciar o crescimento da espécie em relação ao seu nicho ecológico. Embora as condições nutricionais avaliadas no estudo do crescimento da planta em casa-de-vegetação estivessem em escala superior ao observado em campo, permitiu conhecer o comportamento da espécie em função dos recursos nutricionais disponíveis sem a interferência de outros fatores do meio como a competição inter e intra-específica.

7. CONCLUSÕES

O estudo das condições ambientais presentes no habitat de *B. subquadripara* permitiram concluir que:

- A variação sazonal influenciou na distribuição das populações, a qual ocorreu de forma heterogênea na estação chuvosa em relação à densidade populacional.
- A maior área de infestação foi registrada nos locais mais próximos da área urbana na estação das águas (verão).
- No deslocamento a partir do Rio Tietê desde Anhembi/SP em direção à barragem do reservatório de Barra Bonita, ocorre redução das concentrações de nitrogênio total, fosfato e potássio na água. O estado nutricional das plantas referente ao nitrogênio também foi reduzido nas populações mais próximas à barragem.

- *B. subquadripa* colonizou de forma expressiva em áreas de diferentes concentrações de cálcio no solo e na água.

O estudo do crescimento de *B. subquadripa* em função de diferentes concentrações de N, P e K permitiram concluir que:

- O comportamento do crescimento da espécie responde exponencialmente às concentrações de nutrientes testadas referentes à maioria dos parâmetros estudados.
- A extensão da área foliar foi negativamente afetada pela ausência dos macronutrientes e o crescimento inicial ocorreu de forma mais lenta nas condições de maior concentração de nutrientes.
- A alocação de biomassa prioriza a produção de raízes na ausência de nitrogênio e de colmos nas ausências de P e K.
- Os acúmulos dos nutrientes revelaram maior exigência de potássio pelas plantas de *B. subquadripa*.
- Em condições eutróficas, as plantas de *B. subquadripa* não alteram a proporção de folhas, colmos e raízes durante o período de desenvolvimento.
- Os índices fisiológicos estudados foram influenciados pelos diferentes níveis de nutrientes testados e apresentaram alta correlação entre os mesmos.
 - O excesso de fósforo pode ser mais prejudicial para a eficiência do aparelho assimilador (expresso pela TAL) das plantas de *B. subquadripa* do que em relação a condições de deficiência deste nutriente.

- A deficiência de potássio tende a afetar o aparelho assimilador das plantas de *B. subquadripara* devido a redução na TAL.
- A concentração de 84 mg L^{-1} de nitrogênio (50% da solução base) foi considerada como uma concentração limite para a TCR, sendo que o aumento da concentração acima deste valor pode causar reduções na TCR ao longo do desenvolvimento da planta.
- Em condições de deficiência ou excesso de fósforo tende a reduzir a TCR durante o desenvolvimento da planta.
- A taxa de crescimento foi maior na menor concentração de K ($46,8 \text{ mg L}^{-1}$), reduzindo o acúmulo de biomassa de *B. subquadripara* quando associado às maiores concentrações de N e P.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGREN, G. I.; INGESTAD, T. Root: shoot ratio as a balance between nitrogen productivity and photosynthesis. **Plant, Cell Environmental**, Oxford, v. 10, p. 579-586, 1987.

ALÁEZ, M. F.; ALÁEZ, C. F.; BECARES, E. Nutrient content in macrophytes in spanish shallow lakes. **Hidrobiologia**, Bucharest, v. 408, n. 409, p. 317-326, 1999.

ANDRADE, J. B. **Estudo comparativo de três capins da espécie Panicum maximum Jacq. (Colonião, Tobiata e K – 187 B)**. 1987. 133 p. Dissertação (Mestrado)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

BARKO, J. W.; ADAMS, M. S.; CLESCERI, N. L. Environmental factors and their consideration in the management of submersed aquatic vegetation: A review. **Aquatic Plant Management**, v. 24, p 1-10, 1986.

BARKO, J. W.; SMART, R. M. Effects of organic matter additions to sediment on the growth of aquatic plants. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 71, p. 161-175. 1983.

_____. Sediment related mechanisms of growth limitation in submersed macrophytes. **Ecology**, New York, v. 67, p. 1328-1340, 1986.

BARRAT-SEGRETAIN, M. H. Biomass allocation in three macrophyte species in relation to the disturbance level of their habitat. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 46, p. 935-945, 2001.

BATISTA, K. **Respostas do capim-marandú a combinações de doses de nitrogênio e enxofre**. 2002. 91 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002, 91 p.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 41 p.

_____. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003, 41 p.

BILLY, V. de C. et al. Impact of agricultural practices on a small headwater stream: terrestrial and aquatic characteristics and self-purifying processes **Hydrobiologia**, Bucharest, v. 421, p.129-139, 2000.

BOARO, C. S. F. **Influência da variação dos níveis de magnésio sobre o desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv Carioca), em cultivo hidropônico**. 1986. 163 p. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1986.

BOHM, W. **Methods of studying root system**. Berlim: Spring Verlag, 1979.

BOON, P. J. The Relevance of ecology to the statutory protection of British rivers. In: _____. **The ecological basis for river management**. John Wiley & Sons, 1995. p. 30-43.

BRAGA, G. J. **Resposta do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) a doses de nitrogênio e intervalos de corte**. 2001. 121 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2001.

BRANDES, D. et al. Efeitos da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). II. Análise de crescimento. **Experientiae**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 1-21, 1973.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Resolução CONAMA n. 357**, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 15 abr. 2007.

CAMARGO, A. F. M. et al. Primary production of *Utricularia foliosa*, *Egeria densa* and *Cabomba furcata* from rivers of the coastal plain of the state of Sao Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AQUATIC WEEDS, 2002, Moliets et Maã. **Proceedings...** Moliets et Maã: 2002.

CARBONARI, C. A.; MARTINS, D.; TERRA, M. A. Controle de *Brachiaria subquadripara* e *Brachiaria mutica* através de diferentes herbicidas aplicados em pós-emergência. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, p.79-84, 2003. Edição especial.

CARY, P. R. et al. Growth of *Salvinia molesta* as affected by water temperature and nutrition. II. Effects of phosphorus level. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 17, p. 61-70, 1983.

CAVENAGHI, A. L. **Caracterização da qualidade de água e sedimento relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da bacia do rio Tietê**. 2003. 63 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

CARVALHO, F. T. et al. Eficácia do carfentrazone-ethyl no controle de plantas aquáticas latifoliadas em caixas-d'água. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 305-310, 2005.

CHAMBERS, P. A. et al. Nutrient dynamics in riverbeds: the impact of sewage effluent and aquatic macrophytes. **Water Research**, Exeter, v. 28, n. 2, p. 453 - 464, 1994.

CLARKE, S. J.; WHARTON, G. Sediment nutrient characteristics and aquatic macrophytes in lowland English rivers. **The Science of the Total Environment**, v. 266, p.103 -112, 2001.

CROSSLEY, M. N. The effects of water flow, pH and nutrition on the growth of the native aquatic plant, *Aponogeton elongates*. 2002. 171 p. Thesis (Master of Philosophy)-University of Queensland, Gatton, 2002.

DECHEN, A. R. et. al. Conceitos fundamentais da interpretação da análise de plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21. 1994, Petrolina. **Anais...** Petrolina: EMBRAPA, CPATSA, 1995.

DICKSON, R. E.; ISEBRANDS, J. G. Leaves as regulators of stress response. In: MOONEY, H. A.; WINNER, W. E.; PELL, E. J. **Response of plants to multiple stresses**. London: Academic Press, 1991. p. 3-34.

DOMINGOS, V. D. et al. Alocação de biomassa e nutrientes em *Heteranthera reniformes* sob o efeito de N, P e K. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, p. 33-42, 2005.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

ESTEVES, F. A.; BARBOSA, F. A. R. Eutrofização artificial: a doença dos lagos. **Ciência Hoje**, São Paulo, p. 48-43, 1992. Especial Eco-Brasil.

FERREIRA, C. M. L. **Estudo de uma área alagada do Rio Atibaia, visando a elaboração de proposta de manejo para melhoria da qualidade da água no reservatório Salto Grande (Americana, SP)**. 2000. 147 p. Tese (Doutorado)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

FOYER, C. H.; GALTIER, N. Source-sink interaction and communication in leaves. In: ZAMSKI, E.; SCHAFFER, A. A. **Photoassimilate distribution in plants and crops**. 1996. p. 311-340.

GIUSTI, E., LIBELLI, S. M. Modelling the interactions between nutrients and the submersed vegetation in the Orbetello Lagoon. **Ecological Modelling**, **Cidade**, v. 184, p. 141–161, 2005.

GREENBERG, A. E.; CLESCERI, L. S.; EATON, A. D. **The standart methods for the examination of water and wastewater**. 18. ed. American Public Health Association, 1992. (sem numeração sequencial de páginas).

GUIMARÃES, G. L. et al. Metodologia para avaliação de impacto ambiental de macrófitas em mesocosmos. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, p. 37-42, 2003. Edição especial.

HORAK, M. J.; LOUGHIN, T. M. Growth analysis of four *Amaranthus* species. **Weed Science**, Oxford, v. 48, n. 3, p. 347-355, 2000.

HORIGUCHI, G. et al. Coordination of cell proliferation and cell expansion in the control of leaf size in *Arabidopsis thaliana*. **Journal Plant Research**, Bunkyo-ku, v. 119, p. 37– 42, 2006.

JACKSON, L. J.; KALFF, J. Patterns in metal content of submerged aquatic macrophytes: the role of plant growth form. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 29, p. 351-359, 1993.

JACKSON, L. J.; KALFF, J.; RAMUSSEN, J. B. Sediment pH and redox potential affect the bioavailability of Al, Cu, Fe, Mn, and Zn to rooted aquatic macrophytes. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 50, n.1, p. 143-148, 1993.

JONES, C. G.; COLEMAN, J. S. Plant stress and insect herbivory: Toward an integrated perspective. p. 249-280. In: MOONEY, H. A.; WINNER, W. E.; PELL, E. J. Response of plants to multiple stress. San Diego: Academic Press, 1991.

KHEDR, A. H.; EL-DEMERDASH, M. A. Distribution of aquatic plants in relation to environmental factors in the Nile Delta. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 56. p. 75-86, 1997.

KISSMANN, K.G. **Plantas infestantes e nocivas**. 2. ed. Basf, 1997. v. 1, 825 p.

LAMBERS, H.; POORTER, H. Inherent variation in growth rate between higher plants: A search for physiological causes and ecological consequences. **Advances in Ecology Research**, London, v. 23, p. 187-261, 1992.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. 2. ed. São Paulo: Pedagógica e Universitária, 2000. 319 p.

LORENZEN, B. et al. Growth, biomass allocation and nutrient use efficiency in *Cladium jamaicense* and *Typha domingensis* as affected by phosphorus and oxygen availability. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 70, p. 117–133, 2001.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 3. ed. Nova Odessa, SP. Instituto Plantarum, 2000, 608 p.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 319 p.

MILTHORPE, F. L.; MOORBY, J. A. **Introduction to crop physiology**. Cambridge: Cambridge University, 1974. 201 p.

MONTEIRO, C. A. de F. **A dinâmica climática e as chuvas do Estado de São Paulo**: estudo em forma de atlas. São Paulo: IGEOG/USP, 1973.

MOONEY, H. A.; WINNER, W. E.; PELL, E. J. **Response of plants to multiple stress**. Academic Press, 1991. 413 p.

NOVO, E. de M.; LEITE, F. O sistema de informações geográficas do reservatório da UHE Barra Bonita. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE, 1996. p. 227-232.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 423 p.

ONAINDIA, M.; BIKUNA, B. G. de; BENITO, I. Aquatic plants in relation to environmental factors in Northern Spain. **Journal of Environmental Management**, London, v. 47, p.123-137, 1996.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetal**. Campinas: Agrônomo, 1987. 33 p. (Boletim técnico, 114).

PITELLI, R. A. Macrófitas aquáticas no Brasil, na condição de problemáticas. In: WORKSHOP CONTROLE DE PLANTAS AQUÁTICAS, 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1998. p. 12-15.
POORTER, H.; EVANS, J. R. Photosynthetic nitrogen-use efficiency of species that differ inherently in specific leaf area. **Oecologia**, Berlin, v. 116, p. 26-37, 1998.

POORTER, H. et al. A genetic analysis of relative growth rate and underlying components in *Hordeum spontaneum*. **Oecologia**, Berlin, v.142, p. 360–377, 2005.

POTT, A. **Pastagens no Pantanal**. Corumbá: EMBRAPA, CPAP, 1988. 58 p. (Documentos, 7).

POTT, A.; AFONSO, E. Plantas tóxicas para bovinos em Mato Grosso do Sul. EMBRAPA Gado de corte, 2000. (Circular técnico, 44).

POTT, A.; POTT, V. J. Features and conservation of the Brazilian Pantanal wetland. **Wetlands Ecology and Management**, Dordrecht, v. 12, p. 547-552, 2004.

POTT, V. J.; POTT, A. **Plantas aquáticas do Pantanal**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2000. 404 p.

PORTES, T. A.; CASTRO, L. G. Análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 3, n.1, p. 53-56, 1991.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. 2004. 172 f.. Tese (Doutorado em Engenharia/Ciências da Engenharia Ambiental)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. de M. Aplicação de geotecnologias na modelagem do potencial poluidor das sub-bacias de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP relacionado à qualidade da água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 2005.Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 3253-3260.

RADFORD, P. J. Growth analysis formulae - their use and abuse. **Crop Science**, Madison, v. 7, n. 3, p. 171-5, 1967.

RADOSEVICH, S.; HOLT, J.; GHERSA, C. **Weed ecology**. 2. ed. New York: Wiley, 1997. 588 p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres; POTAFÓS, 1997. 343 p.

RANI, V. U.; BHAMBIE, S. A study on the growth of *Salvinia molesta* Mitchell in relation to light and temperature. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 17, p. 119-124, 1983.

REDDY, K. R. et al. Growth characteristics of aquatic macrophytes cultured in nutrient enriched water: I. Water hyacinth, water lettuce and pennywort. **Economy Botany**, v. 38, p. 229-239, 1984.

REJMANKOVA, E. Ecology of creeping macrophytes with special reference to *Ludwigia peploides* (H.B.K.) Raven. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 283-299, 1992.

RENVOIZE, S. A.; CLAYTON, W.D.; KABUYE, C. H. S. Morphology, taxonomy and natural distribution of *Brachiaria*. In: MILES, J. W.; MAASS, B. L.; VALLE, C. B. (Eds.). **Brachiaria: biology, agronomy and improvement**. Cali: CIAT; Brasília, DF: EMABRAPA, CNPGC, 1996. p.1-15.

REYNOLDS, C. S.; DAVIES, P. S. Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwaters; a British perspective. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, Cambridge, v. 76, n. 1, p. 27-64, 2001.

ROCHE, R.; MENÉNDEZ, J.; HERNÁNDEZ, J. E. Características morfológicas indispensables para la clasificación de especies del género *Brachiaria*. **Pastos Forrages**, v. 13, p. 205-222, 1990.

RODRIGUES, J. D. **Influência de diferentes níveis de cálcio, sobre o desenvolvimento de plantas de estilosantes (*Stylosanthes guyanensis* (Aubl.) Sw. cv. Cook), em cultivo hidropônico**. 1990. Tese (Livre-Docência)-Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1990.

SANTOS, A.; REZENDE, M. O. de O.; ROSA, A. H.. Distribuição de Cr, Ni, Cu, Cd e Pb em frações húmicas de diferentes tamanhos moleculares extraídas de amostras de água e de sedimentos do reservatório de captação de água superficial Anhumas, Araraquara-SP. **Eclética Química**, São Paulo, v. 27, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46702002000100013&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 25 maio 2007.

SEIBERT, A. C.; PEARCE, R. B. Growth analysis of weed and crop species with reference to seed weight. **Weed Science**, Champaign, v. 41, n. 1, p. 52-56, 1993.

SILVA, H. G. et al. Effect of nutrient concentration on the growth of *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* and *Salvinia molesta*. In: EWRS INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AQUATIC WEEDS, 11., 2002, Moliets et Maã (France). **Proceedings...** Moliets et Maã: 2002.

SMITH, V. H.; TILMAN, G. D.; NEKOLA, J. C. Eutrophication: impacts of nutrient inputs to freshwater, marine and terrestrial ecosystems. **Environmental Pollution**, Kidlington, v. 100 p. 179-196, 1999.

STUART, F. Effects of multiple environmental stress on nutrient availability and use. In: MOONEY, H. A.; WINNER, W. E.; PELL, E. J. **Response of plants to multiple stresses**. London: Academic Press, 1986. p. 67-88.

THOMAZ, S. M. et al. Aquatic macrophytes of Itaipu Reservoir, Brazil: survey of species and ecological considerations. **Brazilian Archives Biology Technology**, v. 42, p. 15-22, 1999.

TOETZ, D. W. Uptake and translocation of ammonia by freshwater hydrophytes. **Ecology**, New York, v. 55, p. 199-201, 1974.

TUNDISI, J. G. Ambiente, represas e barragem. **Ciência Hoje**, São Paulo, p. 40-46, 1992. Especial Eco-Brasil.

_____. Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: HENRY, R. (Ed.). **Ecologia de reservatórios**. Botucatu: FUNDIBIO; FAPESP, 1999. p. 19-38.

VIS, C.; HUDON, C.; CARIGNAN, R. An evaluation of approaches used to determine the distribution and biomass of emergent and submerged aquatic macrophytes over large spatial scales. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 77, p. 187-201, 2003.

WATSON, D.J. The physiological basis of a variation in yield. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 4, p. 101-144, 1952.

WERF, A. V. D. Growth analysis and photoassimilate partitioning. In: ZAMSKI, E.; SHAFFER, A. A. **Photoassimilate distribution in plants and crops: source-sink relationships**. 1996. p. 1-20.

WERNER, J. C. **Adubação de pastagens**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1984. 49 p. (Boletim técnico, 18).

WETZEL, R. G. **Limnologia**. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993. 915 p.

WIUM-ANDERSON, S.; ANDERSON, J. M. The influence of vegetation on the redox profile of the sediment of Grane Langso, a Danish Lobelia lake. **Limnology and Oceanography**, Baltimore, v. 17, p. 948-952, 1972.

WUNDERLIN, R.; HANSEN, B. **Atlas of Florida vascular plants**. Tamap: Institute of Systematic Botany, 2006. Disponível em:
<http://www.plantatlas.usf.edu/result.asp?search=brachiaria%20subquadripa&search_by=Sci_Name&qualifier=Any&EPPC=ANY&WAP=ANY&synonyms=include&native=ANY&NWI=ANY&DEP=ANY&endemic=ANY&FLStatus=Any&USStatus=Any&county_name=ANY&NumPerPage=50&CurPage=1&FlgNoSciRecords=1&Check=1> Acesso em: 20 abr. 2007.