

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE ARROZ IRRIGADO DE PERICARPO COLORIDO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO

*Growth and yield of irrigated rice of colored pericarp as a function of the application of nitrogen and potassium*Fabiana Schmidt^{1*}¹ Pesquisadora Doutora, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de SC, Epagri, e-mail: fabianaschmidt@epagri.sc.gov.br;

Artigo enviado em 30/09/2016, aceito em 23/03/2017 e publicado em 11/04/2017.

Resumo: O potássio (K) estimula o aproveitamento do nitrogênio (N) pelas plantas possibilitando que as produtividades sejam maiores. Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de N e K sobre o crescimento, produção de grãos e concentrações de N e K nas folhas dos cultivares SCS119 Rubi - arroz de pericarpa vermelho e SCS120 Ônix -arroz de pericarpa preto. O experimento foi realizado em casa de vegetação, em vasos com 9 kg de amostras de solo da camada de 0-0,2m de um Gleissolo Háplico. Nos dois cultivares de tipos especiais de arroz foram testadas: omissão individual e completa (0%) de N e K e aplicação combinada destes nutrientes, em esquema fatorial 2x2. As quatro combinações de N e K, em mg dm⁻³ foram: 0-0; 0-60; 180-0; 180-60. O N e o K foram fornecidos como ureia e cloreto de potássio, respectivamente. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com 3 repetições. A adição de K à adubação nitrogenada para o SCS119 Rubi foi fundamental para maximizar o perfilhamento, o crescimento da parte aérea na fase vegetativa do arroz e a produção de grãos. Alta dose de N com a omissão da aplicação de K ocasionou desequilíbrio nutricional das plantas evidenciado pelas altas concentrações de N no tecido vegetal. Os cultivares de arroz diferiram quanto ao aproveitamento do N e K para o perfilhamento e crescimento sendo considerado responsivo o SCS119 Rubi e não responsivo o SCS120 Ônix.

Palavras-chave: Arroz vermelho, arroz preto, adubação nitrogenada e potássica, perfilhamento, estado nutricional.

Abstract: Potassium (K) stimulates the efficient use of nitrogen by plants increasing crop yield. The aim was to evaluate the effect of N and K on the growth, grain production and N and K concentration on leaves of cultivars SCS119 Rubi - red pericarp rice and SCS120 Onix - black pericarp rice. The experiment was performed in a greenhouse using pots with 9 kg of soil samples at 0-0.2 m depth of Haplic Gleysol. In two cultivars of special types of rice were tested: individual and complete omission (0%) of N and K and combined application of these nutrients, in a 2x2 factorial design. The four combinations of N and K, in mg dm⁻³ were: 0-0; 0-60; 180-0; 180-60. N and K were provided as urea and potassium chloride, respectively. The experimental design was randomized blocks, with three repetitions. The addition of K to N fertilization to SCS119 Rubi was essential to maximize tillering, the shoot growth in the vegetative stage of rice and grain production. High dose of N with the omission of the K application caused imbalance nutritional in plants evidenced by high concentrations of N in plant tissue. The rice cultivars differed on the use of N and K for tillering and growth being considered responsive the SCS119 Rubi and unresponsive the SCS120 Onix.

Key words: red and black rice pericarp, nitrogen and potassium fertilization, tillering, nutritional status.

INTRODUÇÃO

O N e o K são os nutrientes requeridos em maiores quantidades pelo arroz e a disponibilidade destes no solo altera as características produtivas e nutricionais das plantas (SINGH; PILLAI, 1996; MARIOT et al., 2003; YANG et al., 2003). O suprimento destes nutrientes em quantidades e proporções adequadas é necessário para alcançar altas produtividades das culturas agrícolas. Em condições de alto suprimento de N, a adubação potássica poderá favorecer o equilíbrio nutricional das plantas, proporcionando maior firmeza dos colmos e maior translocação de fotossintatos para os grãos (ANDREOTTI et al., 2001).

O N se destaca como o nutriente de maior impacto na produção do arroz atuando nos processos de crescimento e desenvolvimento das plantas (CAMPBELL et al., 1995; FAGERIA, 2014; DONG et al., 2015). O incremento no fornecimento de N pode influenciar a produção de gramíneas, tanto por ação na morfogênese vegetal (MARSCHNER et al., 1996), como pelo aumento de material vegetal impulsionado pela síntese de proteínas (CRAWFORD et al., 2000).

O K é um nutriente muito móvel nos tecidos vegetais e exerce várias funções na planta, dentre as quais, participa da translocação de carboidratos sintetizados no processo fotossintético, da síntese protéica, de extensão e turgor celular, síntese de poliaminas e da ativação enzimática. O fornecimento de K para as plantas estimula o

aproveitamento do N possibilitando que sua absorção e assimilação seja aumentada (MARSCHNER, 2012). A adubação combinada de N com K também têm influência na emissão de perfilhos e folhas, área foliar e sistema radicular (BAHMANIAR et al., 2007; BHIAH et al., 2010).

A resposta das culturas ao K depende, em grande parte, do nível em que se encontra a nutrição nitrogenada. Assim, em condições de maior suprimento de N para alcançar altas produtividades, maiores serão as demandas nutricionais por K. Por outro lado, a adubação nitrogenada, por vezes, pode proporcionar produções abaixo da esperada em virtude de baixa disponibilidade de K no solo. Alguns autores (SNYDER e CISAR, 2000; FITZPATRICK e GUILLARD, 2004; SZCZERBA et al., 2008), estudando o fornecimento de N na adubação, concluíram que quando o N foi fornecido em doses consideradas altas verificava-se a necessidade do aumento da dose de K para se garantir produtividades mais altas.

Na definição das doses das adubações nitrogenadas e potássicas para o arroz, verifica-se necessário o conhecimento comportamental dos diferentes genótipos da espécie quanto a eficiência do uso desses nutrientes. Estas informações permitem indicar o manejo da adubação visando melhorar o ajuste de doses associadas a maior eficiência na utilização de N e K para cada genótipo.

Dentre os genótipos de arroz, os materiais de tipos especiais de arroz apresentam variações expressivas quanto à expectativa de rendimento de grãos. Os tipos especiais são grãos de arroz que apresentam qualidade sensorial ou de processamento diferente do arroz branco polido, parboilizado ou integral. Destacam-se para nichos de mercado os tipos especiais de arroz de pericarpo vermelho ou preto, com altos níveis de antocianinas e proantocianidinas que atuam como agentes antioxidantes (MASSARETO, 2013).

O programa de melhoramento genético de arroz irrigado da Epagri/SC lançou em 2012, dois cultivares de tipos especiais de arroz, o SCS119 Rubi de pericarpo vermelho e o SCS120 Ônix de pericarpo preto. Ambos os cultivares são pertencentes à espécie *Oryza sativa*. Os cultivares possuem expectativa de produtividade diferenciadas, a produtividade média do SCS119 Rubi é de 7.900 kg por hectare e o SCS120 Ônix tem alcançado produtividades médias de apenas 5.500 kg por hectare (WICKERT et al., 2014).

As respostas produtivas destes cultivares de arroz às adubações nitrogenadas e potássicas ainda não foram avaliadas. Considerando que a aplicação de N e K pode aumentar de forma diferenciada a capacidade produtiva destes cultivares, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de N e K combinados e da omissão individual e completa destes nutrientes sobre o crescimento, produção de grãos e concentrações de N e K para o SCS119 Rubi, arroz de pericarpo vermelho e SCS120 Ônix, arroz de pericarpo preto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação no período primavera/verão de 2015. O solo utilizado no ensaio foi amostrado em Itajaí, Santa Catarina, Brasil (26°57'10"S e 48°45'40"O). O solo foi classificado como Gleissolo Háplico (EMBRAPA, 2013) sendo coletada a camada de 0-20cm de profundidade.

A determinação de atributos químicos do solo foi realizada de acordo com metodologias descritas por Tedesco et al., (1995). Os valores obtidos foram 22% de argila; pH (água): 5,1; índice SMP: 6,1; matéria orgânica - MO: 2,0 %; P: 5,5 mg dm⁻³; K⁺: 52 mg dm⁻³; Ca²⁺: 0,8 cmol_c dm⁻³; e Mg²⁺: 0,4 cmol_c dm⁻³ e capacidade de troca de cátions - CTC_{pH7}: 8,4 cmol_c dm⁻³. O solo utilizado no ensaio possui baixa disponibilidade de K de acordo com a interpretação das tabelas de recomendações da pesquisa em arroz irrigado para o Sul do Brasil (SOSBAI, 2014).

Para o cultivo do arroz irrigado foram utilizados vasos plásticos com capacidade de 10 L, comportando 9 kg de solo seco. Os tratamentos compreenderam doses de N e K com omissão individual e completa (0%) destes nutrientes e aplicação de N e K combinados, em esquema fatorial 2x2. As quatro combinações de N e K, em mg dm⁻³ foram: 0-0; 0-60; 180-0; 180-60.

As doses de N, K e P foram recomendadas de acordo a interpretação dos teores disponíveis no solo e considerando alta expectativa de resposta de produção (120 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de K₂O e 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅). As doses utilizadas nos vasos corresponderam à três vezes a dose recomendada à campo visando garantir o crescimento das plantas até o final do ciclo. A adubação nitrogenada foi aplicada na dose de 360 kg ha⁻¹ de N, ou seja, 180 mg dm⁻³ de N fornecida como ureia diluída em água (2,88 g ureia em 40 ml de água por vaso). A adubação potássica foi aplicada na dose de 300 kg ha⁻¹ de K₂O, ou seja, 150 mg dm⁻³ de K₂O ou 60 mg dm⁻³ de K fornecido como cloreto de potássio diluído em água (2 g KCl em 40 ml de água por vaso).

Em pré-semeadura, procedeu-se à adubação com superfosfato triplo em dose correspondente à 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, ou seja, 60 mg dm⁻³ de P₂O₅. O SFT foi finamente moído e após misturado ao solo (1,07g SFT por vaso). O calcário dolomítico (PRNT=78,3%) foi misturado ao solo 20 dias antes da semeadura visando o fornecimento de Ca e Mg.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com 3 repetições. Os dois cultivares de tipos especiais de arroz utilizados na avaliação dos tratamentos foram: i) SCS119 Rubi – arroz de pericarpo vermelho e ii) SCS120 Ônix – arroz de pericarpo preto. Os cultivares pertencem ao banco de germoplasma de tipos especiais de arroz do programa de melhoramento de arroz irrigado da Epagri (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de SC).

Oito sementes de arroz foram semeadas por vaso, e quando as plantas apresentaram três folhas foi realizado um desbaste mantendo-se três plantas por vaso. A aplicação das doses de N e K dissolvidos em água destilada foi realizada

parceladamente, em duas ocasiões: 1/2 da dose no estágio v₃-v₄ (20 dias após a semeadura) e 1/2 da dose no perfilhamento (30 dias após a primeira aplicação). Logo após a primeira aplicação dos fertilizantes, os vasos foram alagados com água destilada, mantendo-se uma lâmina de água de 5 cm de altura até a colheita das plantas.

Aos 120 dias após a semeadura, no estágio R8 (COUNCE et al., 2000), foi realizada a contagem do número de perfilhos e folhas emitidas por planta. Posteriormente, a parte aérea das plantas foi coletada através de corte rente ao solo. Nesta amostra foi realizada a contagem do número de panículas por vaso e os grãos foram separados do restante da parte aérea.

As amostras da parte aérea e das raízes foram colocadas em estufa de secagem à temperatura de 60°C, por 72 h, até atingir massa constante, seguida de pesagem em balança de precisão para a quantificação da massa de matéria seca da parte aérea e das raízes. O tecido vegetal da parte aérea foi moído em moinho tipo Willey, sendo as amostras acondicionadas em sacos plásticos.

Nas amostras foram determinadas as concentrações de N e K conforme metodologia descrita por Tedesco et al., (1995). O N foi determinado pelo método analítico semi-micro Kjeldahl após digestão sulfúrica, enquanto a digestão nítrico-perclórica foi realizada para a preparação dos extratos contendo K em solução. Para a determinação do K, utilizou-se o método de fotometria de chama.

Os grãos colhidos foram secos a 40°C em estufa, por 72 horas. Após foi realizada a pesagem em balança de precisão para a determinação da massa seca de grãos colhidos por vaso. O peso de grãos foi corrigido para 13% de umidade.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando houve significância do teste F para os tratamentos “combinações de N e K”, realizou-se o estudo de comparações de médias aplicando-se o teste de Tukey $p < 0,05$. Nessa análise, os cultivares não foram considerados como fator tratamento, pois os mesmos apresentam potencial de produtividade distintos. Todos os procedimentos de análise foram realizados com o auxílio do software estatístico R (R CORE TEAM, 2015).

RESULTADOS

Perfilhamento, número de folhas, de panículas e de grãos por panícula

O perfilhamento dos cultivares foi influenciado de forma diferenciada pelas adubações nitrogenadas e potássicas. O SCS119 Rubi (de pericarpo vermelho) apresentou acréscimo de 3 a 5 perfilhos por planta em resposta às adubações de N e de N e K combinados (Fig. 1).

O cultivar SCS120 Ônix (de pericarpo preto) apresentou baixo potencial de perfilhamento e não aumentou o número de perfilhos emitidos com o uso da

adubação nitrogenada e potássica (Fig. 1). O K quando aplicado sem o fornecimento de N não se mostrou eficiente em promover o perfilhamento em ambos os genótipos de arroz.

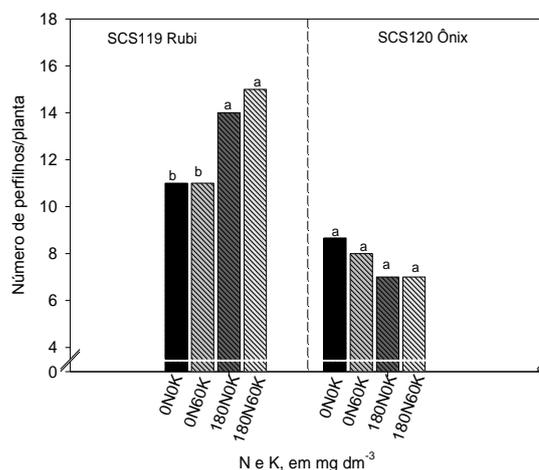


Figura 1. Número de perfilhos por planta em função de N e K fornecidos para SCS119 Rubi (de pericarpo vermelho) e SCS120 Ônix (de pericarpo preto).

A aplicação de N e K combinados aumentou o número total de folhas emitidas por planta no SCS119 Rubi. No SCS120 Ônix, as adubações de N e K não exerceram efeitos significativos na emissão de folhas (Fig. 2).

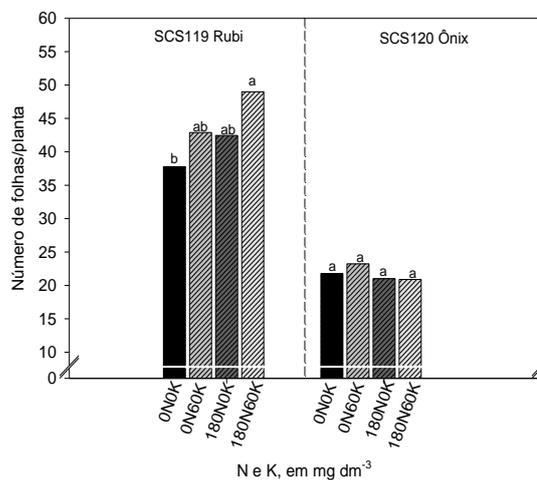


Figura 2. Número de folhas por planta em função de N e K fornecidos para SCS119 Rubi (de pericarpo vermelho) e SCS120 Ônix (de pericarpo preto).

O número de panículas emitidas foi superior nas plantas do SCS119 Rubi crescidas com aplicação de adubação nitrogenada combinada ou não a adubação potássica (Fig. 3). Já o número de grãos por panícula no SCS119 Rubi se manteve superior apenas quando o N foi aplicado juntamente com o K (Fig. 4).

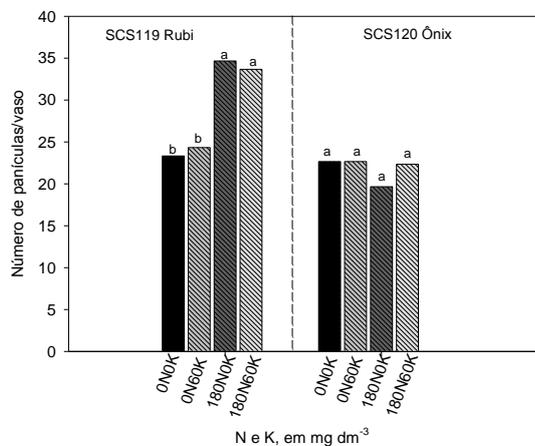


Figura 3. Número de panículas por vaso em função de N e K fornecidos para SCS119 Rubi (de pericarpo vermelho) e SCS120 Ônix (de pericarpo preto).

As doses de N e K fornecidas para o cultivar SCS120 Ônix não influenciaram no número de panículas emitidas por vaso (Fig. 3). Em ambos os genótipos, a aplicação isolada de N ocasionou redução expressiva do número de grãos formados por panícula quando comparada a aplicação combinada de N e K e inclusive da aplicação isolada de K (Fig. 4).

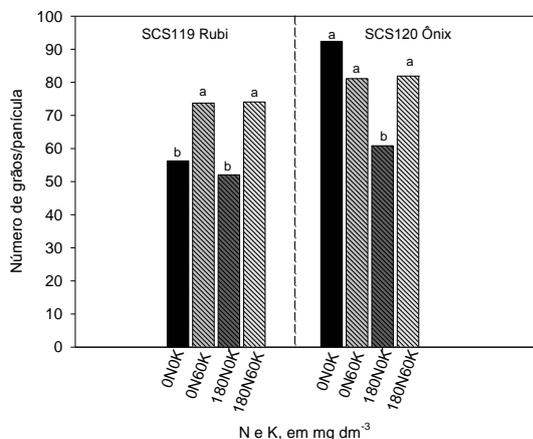


Figura 4. Número de grãos por panícula em função de N e K fornecidos para SCS119 Rubi (de pericarpo vermelho) e SCS120 Ônix (de pericarpo preto).

Produção de massa seca da parte aérea, raízes e grãos

A produção de massa seca da parte aérea do SCS119 Rubi aumentou com a combinação de adubações nitrogenada e potássica e também em resposta a aplicação isolada de N. Entretanto, a aplicação de dose alta de N sem a aplicação de K causou redução na produção de massa seca do SCS120 Ônix (Fig. 5).

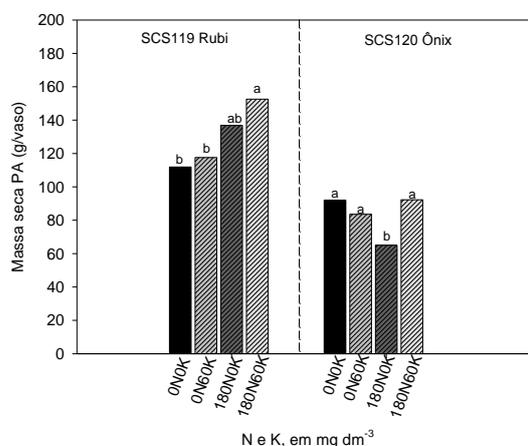


Figura 5. Massa seca da parte aérea em função das combinações de N e K para SCS119 Rubi (de pericarpo vermelho) e SCS120 Ônix (de pericarpo preto).

As plantas de SCS119 Rubi crescidas em condições de omissão completa de N e K apresentaram maior produção de massa seca do sistema radicular. Já, as plantas do SCS120 Ônix apresentaram maior massa seca de raízes tanto em condições de omissão completa quanto da adição combinada de N e K; e menor desenvolvimento radicular quando da omissão de um dos nutrientes (Fig. 6).

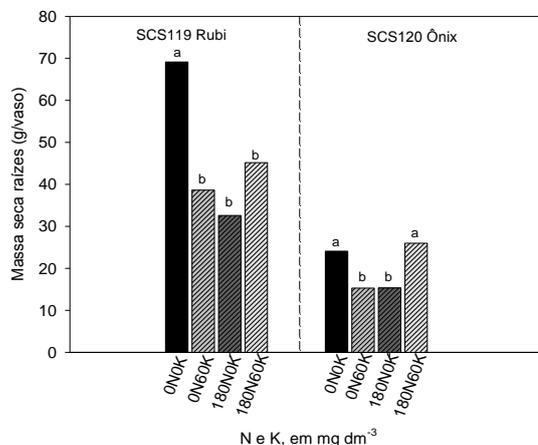


Figura 6. Massa seca de raízes em função das combinações de N e K para SCS119 Rubi (de pericarpo vermelho) e SCS120 Ônix (de pericarpo preto).

A produção de grãos do SCS119 Rubi aumentou quando o N foi aplicado juntamente com o K. Com a aplicação isolada de N e K ocorreram acréscimos de 27% na massa de grãos em relação à testemunha (omissão de N e K), mas quando estes nutrientes foram aplicados juntos o acréscimo foi de 48% (Fig. 7). Já no SCS120 Ônix, ocorreu redução na produção de grãos quando da utilização de dose alta de N com omissão de K.

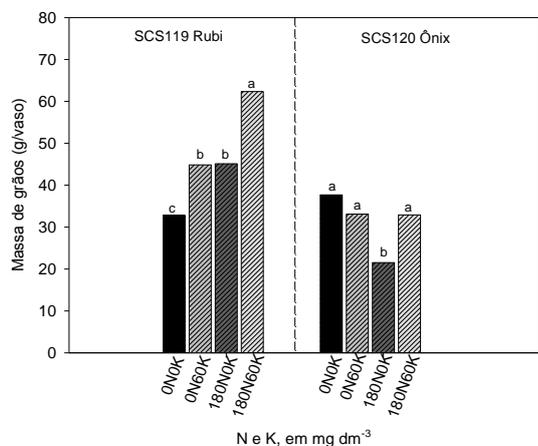


Figura 7. Massa seca de grãos em função das combinações de N e K para SCS119 Rubi (de pericarpo vermelho) e SCS120 Ônix (de pericarpo preto).

Estado nutricional

As concentrações de N na parte aérea do SCS119 Rubi aumentaram com a aplicação de dose alta de N (180 mg dm⁻³), e os teores de N se mantiveram próximos a 20 g kg⁻¹, mesmo com a omissão de K (Fig. 8 a).

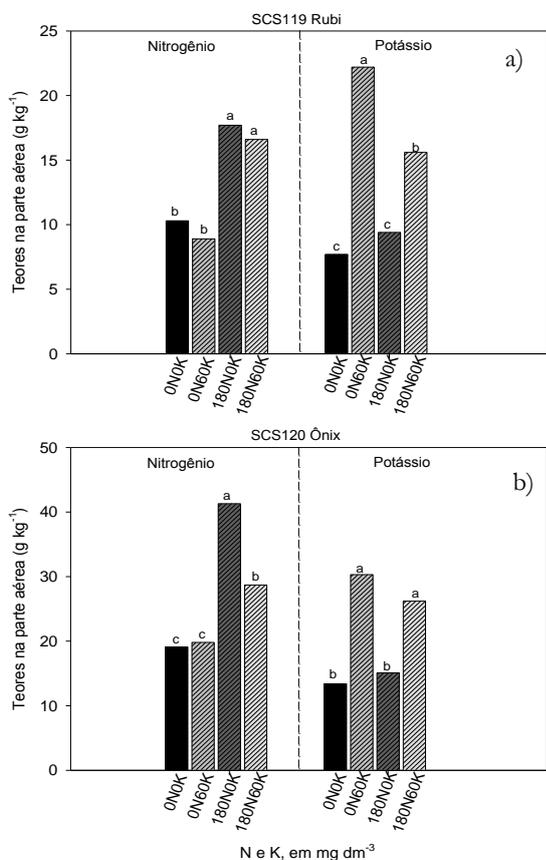


Figura 8. Concentrações de N e K em função das combinações de doses de N e K para SCS119 Rubi (de pericarpo vermelho) e SCS120 Ônix (de pericarpo preto).

Dentre os materiais avaliados, o cultivar SCS120 Ônix apresentou os teores mais altos de N e K nas folhas em resposta a aplicação isolada de altas doses de N e K. Nas plantas de SCS120 Ônix crescidas nestas condições, as concentrações de N (40 g kg⁻¹) e K (30 g kg⁻¹) na parte aérea foram duas vezes maiores do que nas plantas do outro cultivar avaliado. Estes valores ocorreram devido ao efeito de concentração desses elementos nas folhas proporcionado pela menor produção de massa seca da parte aérea do SCS120 Ônix. Quando foi adicionada a adubação potássica, as concentrações de N nas folhas do SCS120 Ônix diminuíram e ficaram próximas a 25 g kg⁻¹ (Fig. 8 b).

Com a aplicação de dose alta de K e omissão de N as plantas de arroz também acumularam K nos tecidos foliares, o SCS119 Rubi e o SCS120 Ônix apresentaram concentrações de K de 22 e 30 g kg⁻¹, respectivamente (Figs. 8a, 8b).

As plantas de ambos os cultivares apresentaram produções mais altas de grãos quando as relações N/K nas folhas foram próximas a 1:1. No entanto, cabe destacar que as concentrações de N e K no tecido foliar relacionadas a estas relações variaram entre os genótipos, sendo 15 g kg⁻¹ para o SCS119 Rubi e 25 g kg⁻¹ para o SCS120 Ônix (Figs. 8a e 8b).

DISCUSSÃO

O número total de perfilhos e folhas variou não somente devido ao potencial genético dos cultivares, mas também pelas mudanças ocorridas no estado nutricional das plantas (Figs. 1 e 2).

O perfilhamento foi afetado positivamente pelas disponibilidades de N e K apenas para o cultivar perfilhador, o SCS119 Rubi (Fig. 1). Os genótipos perfilhadores têm vantagem no estabelecimento inicial da lavoura por adaptarem-se a vários espaçamentos e densidades de plantio, e ainda, compensarem a semeadura irregular. Por outro lado, como o perfilhamento é afetado diretamente pela disponibilidade de N no solo (SALVAGIOTTI e MIRALLES, 2007; PRYSTUPA et al., 2003) pressupõe-se que os genótipos perfilhadores sejam mais exigentes e responsivos a disponibilidade alta de N para as plantas.

Os resultados obtidos neste estudo confirmam essa pressuposição, pois foi verificado que a adubação nitrogenada para o cultivar de arroz vermelho de maior potencial perfilhador em relação ao arroz preto, foi responsável pelo favorecimento do crescimento vegetativo da parte aérea principalmente devido ao efeito ocasionado na emissão de novos perfilhos (Fig. 1).

Embora, a aplicação isolada do N tenha promovido aumento no número de perfilhos por planta similar à aplicação do N combinada ao K (Fig. 1). Com a omissão da aplicação de K, as plantas não atingiram produção de grãos similar a obtida quando da combinação de N e K (Fig. 7). Isto ocorreu, pois a maioria dos perfilhos foram inviáveis ou inférteis, constituindo apenas drenos metabólicos de massa seca.

Em condições de aplicação de doses altas de N responsáveis por estimular o perfilhamento, a aplicação de K mostrou-se fundamental para garantir a formação de número de grãos por panícula e o enchimento de grãos (Fig. 7). Este acréscimo na produção de grãos ocorre devido ao efeito do K na translocação de carboidratos sintetizados no processo fotossintético para os grãos e da síntese protéica (MARSCHNER, 2012).

Cada perfilho novo emitido da bainha da folha é inicialmente dependente de carboidratos provenientes do perfilho principal. Esta dependência diminui à medida que ele começa a aumentar a sua área foliar e a taxa de fotossíntese. O novo perfilho emitido também permanece dependente das raízes dos perfilhos mais velhos para a absorção de água e nutrientes como o N até que tenha desenvolvido raízes suficientes. Assim, o N é exportado dos perfilhos mais velhos para os mais jovens (MARSHALL, 1990). Logo, se a disponibilidade de N ou de K para o arroz for reduzida, a exportação de carboidratos a partir do perfilho principal para novos perfilhos também será baixa o que pode comprometer a produtividade do arroz já que a persistência dos perfilhos viáveis determina o número de panículas (FRANÇA et al., 2008).

O número expressivo de perfilhos emitidos (até 15 perfilhos por planta no SCS119 Rubi) reflete especificamente uma condição de casa de vegetação em condições nutricionais ótimas (Fig. 1). Cabe ressaltar ainda, que grande parte destes perfilhos foram inviáveis ou inférteis, e, admite-se como ideal de 2 a 6 perfilhos para a planta de arroz, que corresponderiam a uma maior quantidade de perfilhos viáveis e maior número de plantas em condições de campo (FRANÇA, et al., 2008).

O número total de folhas emitidas pelo cultivar SCS120 Ônix não foi influenciado significativamente pelo fornecimento de N e K. Ao contrário, para o SCS119 Rubi o fornecimento de N ou de K influenciou significativamente na emissão de folhas (Fig. 2). O fornecimento do K e N provavelmente aumentou a produção de assimilados nessas plantas favorecendo a produção de tecidos foliares, que é resultado da interceptação de luz e fotossíntese das folhas e do uso desses assimilados pelos meristemas foliares para a produção de novas células e, finalmente, expansão foliar (LEMAIRE e AGNUSDEI, 2000).

O K também impulsiona o crescimento foliar através das funções que ele exerce na regulação da pressão osmótica que ocasiona a expansão celular e dessa forma as plantas são capazes de aumentar a área de interceptação luminosa e incrementar a fotossíntese (MARSCHNER, 2012). Cabe destacar que a temperatura influencia diretamente no uso de assimilados pelos meristemas foliares afetando as taxas de divisão e expansão celular, gerando uma demanda de assimilados de C e N para prover energia e substrato para a expansão de tecidos foliares (LAWLOR, 2002).

Segundo estudos desenvolvidos por STRECK et al. (2006), um cultivar de arroz de ciclo mais longo apresenta um maior número total de folhas, sendo emitidas aproximadamente 21 folhas. Este número total de folhas é

similar ao observado para o cultivar de pericarpo preto – SCS120 Ônix. Já o cultivar de pericarpo vermelho – SCS119 Rubi apresentou o dobro de folhas totais emitidas, aproximadamente 45 a 50 folhas (Fig. 2). O maior perfilhamento e número total de folhas emitidas por este cultivar melhorado pode ser atribuído a sua origem genética que é oriunda de materiais genéticos de arroz vermelho que possuem alto vigor e agressividade.

A aplicação isolada de N para o SCS119 Rubi, aumentou significativamente, o número de panículas por vaso e não influenciou o número de grãos formados por panícula (Figs. 3 e 4). Apenas quando a aplicação de N foi combinada com o K foi verificado aumento significativo no número de grãos por panícula (Fig. 4). Assim, foi verificado que os acréscimos na produção de grãos em virtude da aplicação isolada de N ocorreram devido ao efeito deste nutriente na formação do número panículas (Fig. 3), enquanto a aplicação isolada de K exerceu efeito significativo na formação do número de grãos por panícula (Fig. 4). Estas respostas explicam o incremento superior da produção de grãos deste cultivar quando da combinação de N e K na adubação pois a mesma favorece o incremento destes 2 componentes principais de produção do arroz.

A produção de grãos do cultivar SCS120 Ônix foi prejudicada pela aplicação isolada de dose alta de N (Fig. 7). Este efeito está relacionado a redução do número de grãos por panícula ocasionado pela omissão da aplicação do K (Fig. 4). O suprimento de K associado à aplicação de dose alta de N mostrou-se necessário para aumentar a massa seca de grãos (Fig. 7).

Apesar do K não participar de compostos estruturais nas plantas, esse nutriente desempenha funções em vários processos bioquímicos e fisiológicos dos vegetais. Segundo Xu et al. (1992), o crescimento de plântulas de milho com NH_4^+ foi mais vigoroso quando houve suplementação com K. O efeito adicional do K determinando maior crescimento da parte aérea e produção de grãos nas plantas de arroz crescidas com dose alta de N também foi verificado neste estudo (Figs. 5 e 7).

O aumento expressivo da massa seca de raízes do cultivar SCS119 Rubi (Fig. 6), em condições de limitação da disponibilidade de N e K é uma adaptação morfológica deste cultivar frente ao estresse nutricional. As modificações observadas visualmente na morfologia das raízes mostraram que a limitação na disponibilidade de N e K estimulou a formação de novas raízes primárias e/ou secundárias laterais, mais finas, aumentando assim a superfície total de absorção do sistema radicular, de modo a explorar maior volume de solo.

As concentrações de N e K na parte aérea dos 2 cultivares de arroz crescidos com a aplicação combinada destes nutrientes se enquadraram dentro da faixa considerada adequada pela pesquisa (SOSBAI, 2014). Mas, quando as plantas receberam dose alta de K e omissão da aplicação de N, ocorreu o aumento de K nos tecidos foliares (Fig. 8). Nesta condição, a aplicação de dose alta de K no solo promoveu o consumo de luxo de K pelas plantas, ou

seja, a planta absorveu o nutriente aplicado mas não respondeu em crescimento, ocorrendo apenas o aumento da sua concentração nos tecidos da planta.

Nesta condição, as plantas absorvem mais K que necessitam interferindo assim na absorção fisiológica de outros nutrientes para as plantas. Na literatura, tem sido relatado que o aumento nas doses de K, pode afetar a absorção de Ca e Mg (OLIVEIRA et al., 2001), Mn, Zn e Cu (DALIPARTHY et al., 1994). Isso se explica, pelo fato do aumento do K disponível no solo intensificar o efeito competitivo sobre a absorção destes, uma vez que, durante o processo de absorção radicular, estes nutrientes utilizam os mesmos sítios carregadores (MALAVOLTA et al., 1997).

Entretanto, com o emprego da dose alta de N (180 mg kg⁻¹) sem o fornecimento complementar de K também ocorreu o acúmulo de N na parte aérea e produções mais baixas de grãos. A adubação nitrogenada, em relação à adubação potássica, influenciou mais a produção de grãos, mas o K foi fundamental para não limitar a resposta das plantas ao N.

CONCLUSÕES

Os genótipos de tipos especiais de arroz diferiram quanto ao aproveitamento de adubações nitrogenadas e potássicas para o perfilhamento, crescimento vegetativo e produção de grãos.

O SCS119 Rubi (arroz de pericarpo vermelho) foi responsivo às adubações combinadas de N e K. Enquanto o SCS120 Ônix (arroz de pericarpo preto) não foi responsivo às adubações nitrogenadas e potássicas.

A adição de K à adubação nitrogenada foi fundamental para maximizar o perfilhamento, a formação do número de grãos por panícula e a produção de grãos do SCS119 Rubi.

REFERÊNCIAS

ANDREOTTI, M.; RODRIGUES, J.D.; CRUSCIOL, C.A.C.; SOUZA, E.C.A.; BULL, L.T. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. *Scientia Agrícola*, v.58, n.1, p.145-150, 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162001000100022>.

BAHMANIAR, M.A.; RANJBAR, G.A.; AHMADIAN, S.H. Effects of N and K applications on agronomic characteristics of two Iranian and landrace rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Pakistan Journal Biological Sciences*, v.10, n.6, p.880-886, 2007. Disponível em: <http://scialert.net/abstract/?doi=pjbs.2007.880.886>.

BHIAH, K. M.; GUPPY, C.; LOCKWOOD, P.; JESSOP, R. Effect of potassium on rice lodging under high nitrogen nutrition. In: 19TH WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, SOIL SOLUTIONS FOR A CHANGING

WORLD.1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia, p.136-139, 2010. CD-ROM.

BULL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.). *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: POTAFÓS, 1993, p.63-145.

CAMPBELL, C.A.; MYERS, R.J.K.; CURTIN, D. Managing nitrogen for sustainable crop production. *Fertilizer Research*, v.42, n.1, p.277-296, 1995. Disponível em: <http://link.springer.com/article/doi:10.1007/BF00750521>.

CRAWFORD, N.M.; KAHN, M.L.; LEUSTEK, T.; LONG, S.R. Nitrogen and Sulphur. In: BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (Ed.). *Biochemistry and molecular biology of plants*. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. Chap. 16, p.786-849.

DALIPARTHY, J.; BARKER, A.V.; MONDAL, S.S. Potassium fractions with other nutrients in crops - a review focusing on the tropics. *Journal of Plant Nutrition*, v.17, p.1859-1886, 1994. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/01904169409364852>.

DONG, D.; WU, L.; CHAI, C.; ZHU, Y.; CHEN, Y.; ZHU, Y. Effects of nitrogen application rates on rice grain yield, nitrogen-use efficiency, and water quality in paddy field. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.46, n.12, p.1579-1594, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2015.1045595>.

EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013, 353 p.

FAGERIA, N.K. Nitrogen harvest index and its association with crop yields. *Journal of Plant Nutrition*, v.37, p.795-810, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2014.881855>.

FITZPATRICK, R.J.M.; GUILLARD, K. Kentucky bluegrass response to potassium and nitrogen fertilization. *Crop Science*, v.44, n.5, p.1721-1728, 2004. Disponível em: [Doi:10.2135/cropsci2004.1721](http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2004.1721)

FRANÇA, M. G. C.; ROSSIELO, R.O.P; RAMOS, F.T. Relações entre crescimento vegetativo e acúmulo de nitrogênio em duas cultivares de arroz com arquiteturas contrastantes. *Acta Botanica Brasilica*, v. 22, n. 1, p. 43-49, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062008000100006>.

LAWLOR, D.W. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *Journal of Experimental Botany*, v.53, n. 370, p.773-787, 2002. Disponível em:

<http://jxb.oxfordjournals.org/content/53/370/773.full.pdf>
Doi: 10.1093/jxb/53.370.773.

LEMAIRE, G.; AGNUSDEL, M. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. In: LEMAIER, G.; HODGSON, J.; MORAES, A. (Eds.). *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. CAB International, p.265-288, 2000.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: POTAFÓS, 1997.319p.

MARIOT, C.H.P.; SILVA, P.R.F.; MENEZES, V.G., TEICHMANN, L. L. Resposta de duas cultivares de arroz irrigado à densidade de semeadura e à adubação nitrogenada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, n.2, p.233-241, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2003000200010>.

MARSCHNER, H.; KIRKBY, E.; ÇAKMAK, I. Effect of mineral nutrition status on shoot and root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *Journal of Experimental Botany*, v.47, p.1255-1263, 1996. Disponível em:<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21245257>, Doi:10.1093/jxb/47.

MARSCHNER, P. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. 3rd. ed. London: Academic Press, 2012. 651 p.

MARSHALL C. Source-sink relations of interconnected ramets. In: VAN GROENENDAEL J.; DE KROON H., eds. *Clonal growth in plants: regulation and function*. The Hague, The Netherlands: SPB Academic Publishing, p. 23-41, 1990.

MASSARETTO, H. *Estudo comparativo de macronutrientes, compostos bioativos e capacidade antioxidante de arroz preto, vermelho e selvagem*. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade de São Paulo, 2013.

OLIVEIRA, F.A. de; CARMELLO, Q.A.C.; MASCARENHAS, H.A.A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa de vegetação. *Scientia Agricola*, v.58, n.2, p.329-335, 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162001000200016>.

PRYSTUPA, P.; SLAFER, G.A.; SAVIN, R. Leaf appearance, tillering and their coordination in response to N_xP fertilization in barley. *Plant and Soil*, v.255, n.2, p.587–594, 2003. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1023/A%3A1026018702317>.

R CORE TEAM (2015). R: *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing,

Vienna, Austria, 2015. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

SALVAGIOTTI, F.; MIRALLES, D.J. Wheat development as affected by nitrogen and sulfur nutrition. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.58, n.1, p.39-45, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1071/AR06090>.

SCZERBA, M. W.; BRITTO, D.T.; ALLI, S.A.; BALKOS, K.D.; KRONZUCKER, H.J. NH₄⁺ Stimulated and inhibited components of K⁺ transport in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany*, v.59, p.3415-3423, 2008. Disponível em:<http://jxb.oxfordjournals.org/content/59/12/3415.full.pdf+html>.

SINGH, S.P.; PILLAI, K.G. Response of scented rice varieties to nitrogen under transplanted condition. *Indian Journal of Agronomy*, v.33, n.3 p.193-195, 1996. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/294414116_Response_of_scented_rice_Oryza_sativa_to_nitrogen_under_transplanted_condition.

SNYDER, G.H.; CISAR, J.L. Nitrogen/potassium fertilization ratios for Bermuda grass turf. *Crop Science*, v.4, n.6, p.1719-1723, 2000. Doi: <https://ag.purdue.edu/agry/Purdue%20Agroecology/Kteam%20Research/CSSnyderCisarN-KratiosBerm.pdf>.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. *Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil*. Reunião técnica da cultura do arroz irrigado, 31 de agosto de 2016, Bento Gonçalves, RS, Brasil. – Pelotas: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Pelotas, 2016, 200p.

STRECK, N.A.; BOSCO, L.C.; MICHELON, S.; WALTER, L.C.; MARCOLIN, E. Duração do ciclo de desenvolvimento de cultivares de arroz em função da emissão de folhas no colmo principal. *Ciência Rural*, v.36, p.1086-1093, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v36n4/a07v36n4.pdf>.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5).

WICKERT, E.; SIOCCHET, M.A.; NOLDIN, J.A., RAIMONDI, J. V.; ANDRADE, A., SCHEUERMANN, K.; MARSCHALEK, R.; MARTINS, G.N.; HICKEL, E.; EBERHARDT, S.; KNOBLAUCH, R. Exploring variability: new Brazilian varieties SCS119 Rubi and SCS120 Ônix for the specialty rices market. *Open Journal of Genetics*, v.4, p.157-165, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4236/ojgen.2014.42016>.

YANG, X.E.; LIU, J.X.; WANG, W.M.; LI, H.; LUO, A.C.; YE, Z.Q.; YANG, Y. Genotypic differences and some associated plant traits in potassium internal use efficiency of lowland rice (*Oryza sativa* L.). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.67, n.3, p.273-282, 2003. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1023/B:FRES.0000003665.90952.0c>.

XU, Q.F.; TSAI, C.L.; TSAI, C.Y. Interaction of potassium with the form and amount of nitrogen nutrition on growth and nitrogen uptake of maize. *Journal of Plant Nutrition*, v.15, n.1, p.23-33, 1992. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/01904169209364299>.