



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

DJAIR ALVES DA MATA

**EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO
NO
ABACAXIZEIRO 'PÉROLA' EM FUNÇÃO DAS DOSES**

**AREIA
2020**

DJAIR ALVES DA MATA

**EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO NO
ABACAXIZEIRO ‘PÉROLA’ EM FUNÇÃO DAS DOSES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de Concentração: Solos em Ecossistemas Agrícolas e Naturais. Linha de Pesquisa: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Paiva da Silva

**AREIA
2020**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M425e Mata, Djair Alves da.

 Eficiência nutricional de nitrogênio e potássio no
 abacaxizeiro 'Pérola' em função das doses. / Djair
Alves da Mata. - Areia, 2020.
 50 f. : il.

 Orientação: Alexandre Paiva da Silva.
 Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

 1. Ciência do Solo. 2. Ananas comosus comosus. 3.
 taxa de recuperação. 4. balanço nutricional. I. Silva,
 Alexandre Paiva da Silva. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

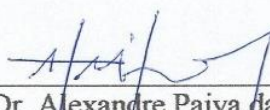
CDU 631.4(043.3)

DJAIR ALVES DA MATA

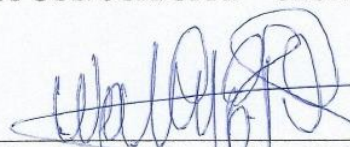
**EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO NO
ABACAXIZEIRO 'PÉROLA' EM FUNÇÃO DAS DOSES**

Aprovada em: 31 de agosto de 2020

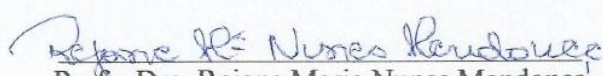
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Alexandre Paiva da Silva
PPGCS/CCA/UFPB - Orientador



Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira
PPGCS/CCA/UFPB – Examinador



Profa. Dra. Rejane Maria Nunes Mendonça
DFCA/CCA/UFPB - Examinadora

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, **Jailma Alves** e **Damião Macedo**, amados, guerreiros e a quem muito devo por sempre acreditarem em mim e por terem abdicado de suas vidas em prol das realizações e da felicidade de seus filhos.*

*A meus irmãos **Djalison**, **Daniel**, **Daniele** e **Dayane** por se preocuparem, pelo carinho e amor, por me incentivarem nos momentos de fraqueza.*

*Agradeço aos meus sobrinhos, **João Vitor**, **Darlan** e ao pequeno **Miguel**. Desejo a vocês tudo de bom que existe nessa vida. Se a jornada de vocês ficarem tortuosas, um grande ser humano falou uma vez, **Stephen Hawking** (1942 -2018), “Lembre-se de olhar para as estrelas, não para os próprios pés. Tente compreender o que vê e questione o que faz o universo existir. Seja curioso. E por mais que a vida pareça difícil, sempre há algo que você pode e consegue fazer. Nunca desista. Deixe sua imaginação correr solta. Molde o futuro.”*

*A minha **Lidiane**, por todo amor, incentivo, apoio e compreensão, principalmente por estar presente mesmo nas horas mais distantes e difíceis. Companheira de todas as batalhas.*

Nada disso teria sentido se vocês não existissem na minha vida!

AGRADECIMENTOS

A Deus todo poderoso, que diante das dificuldades na minha vida, se mostrou presente, me dando forças para prosseguir; pelo dom da vida e por ter me dado foco, força e fé para desenvolver este trabalho;

À todos da minha família que não mediram esforços para me proporcionar educação, sendo peças fundamentais na minha vida acadêmica e pessoal. Agradeço pelo apoio na concretização desse sonho, e sei que nem sempre sou uma pessoa fácil de lidar, porém, em meio às dificuldades ao longo dessa jornada, vocês sempre me fortaleceram com amor e sabedoria;

À Universidade Federal da Paraíba e ao Centro de Ciências Agrárias, pela oportunidade de fazer parte desta instituição de grande reconhecimento;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de me tornar mestre em uma área que é uma das bases da sociedade;

Ao CNPq, por ter financiado meus estudos;

Ao meu orientador Professor Alexandre Paiva da Silva, que acreditou e enxergou potencial no meu esforço. Desde o início do Curso de Mestrado em Ciência do Solo, foi uma pessoa que sempre valorizou a área, tanto no que diz respeito ao ensino, quanto a pesquisa, fez parte da minha trajetória acadêmica do início ao fim, tendo me concedido o privilégio de tê-lo como orientador. Sou grato a ele por todas as oportunidades a mim concedidas e pelo apoio no percurso da pesquisa, me enriquecendo profissionalmente e pessoalmente. Agradeço pela confiança, disponibilidade e acessibilidade sempre que preciso; pela ética e profissionalismo. Foi uma satisfação tê-lo como orientador, obrigado por todos os ensinamentos para ciência e também para a vida;

Aos demais professores do Departamento de Solos e Engenharia Rural por contribuir com minha formação profissional.

A Cláudia, pelo seu apoio nas questões relacionadas às documentações exigidas pelo Programa;

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições pelo enriquecimento dessa pesquisa;

Aos funcionários do DSER/CCA, pela amizade e colaboração durante este trabalho;

Aos amigos, em especial a Rafael Zárate, Valber Almeida, Francisco Edson e João Batista Belarmino que mesmo atarefados com suas pesquisas sempre encontraram tempo para me ajudar, esclarecer dúvidas e crescer como pessoa; agradeço a minha amiga e companheira de equipe Rayane Amaral que nos momentos bons e mesmo nos de atritos esteve firme e forte para o que precisar; agradeço a Augusto de Dhouglas, também conhecido como Jacob, pela amizade e companheirismo e demais alunos do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo por todas as conversas descontraídas, brincadeiras, ajuda na execução das atividades relacionadas a esta pesquisa e pelas palavras de incentivo, fazendo com que eu não desistisse dos meus objetivos;

Agradeço a Muhammad Ali (1942 – 2016) que além de ter sido um grande campeão no mundo do boxe, também deixou um grande legado quanto pessoa, sua jordana e frases me fortalece até

hoje; Agradeço ao Prof. Stephen Hawking (1942 -2018), mais que uma celebridade nas ciências, foi um ser humano de constantes superações, com suas realizações conseguiu passar a sua força de vontade para as novas gerações, meu muito obrigado; A Valeri Alexeevitch Legasov (1936 – 1988) por não desistir da verdade; Agradeço a Natan Sharansky por seu livro ter me proporcionando uma grande força de vontade nos momentos difíceis. Agradeço a estes por fazerem parte da minha caminhada, sou um ser humano melhor ao me referenciar por estes ícones;

A Lidiane, pelo incentivo, companheirismo, carinho e compreensão nos momentos mais difíceis ao longo dessa jornada;

Inspirado nas palavras do personagem Sheldon Cooper faço essa declaração. Essa honra não pertence só a mim. Eu não estaria aqui se não fossem por algumas pessoas importantes na minha vida. Começando com minha mãe, meu pai, meus irmãos, a pessoa incrível que me fez enxergar o mundo com outros olhos, Lidiane, e aos meus amigos, que me enchem de alegria. Não quero cometer o equívoco de achar que minhas realizações são só minhas. Eu fui encorajado, apoiado, inspirado e tolerado não só pela minha família, como também pelos meus amigos. Me perdoem se não fui o amigo que vocês merecem, mas eu quero que saibam que do meu jeito amo vocês;

A todos que aqui não foram mencionados por um momento de esquecimento, mas que sem dúvida foram importantes para a realização deste trabalho;

Enfim...agradeço a todos que de maneira direta ou indireta que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Muito Obrigado!!!

“CHAZAK VE’EMATZ”

(Seja forte e corajoso)

Para todos os que se encontram perdidos, faço das palavras do personagem Jax Teller as minhas, espero que possam lhes ajudar assim como a mim:

“Eu adoro viagens longas, todos os problemas, os barulhos, desaparecem. Nada mais para se preocupar, exceto o que está a sua frente. Talvez seja essa a minha missão de hoje, me agarrar aos momentos simples, apreciamos um pouco mais. Você tem que achar as coisas que ama e correr atrás delas. A força vem de coisas boas, da família, dos amigos, da satisfação de um dia duro de trabalho. Essas são as coisas que te mantêm inteiro. São nessas coisas que devemos nos agarrar.

Chegamos em uma idade em que perceber que ser um homem não é apenas uma questão de respeito ou de força, e sim de consciência sobre todas as coisas que se toca.

Vocês vão ter que encarar suas próprias decisões, por mais que eu queira ajudar e dizer o que fazer, essas escolhas são apenas de vocês. O único conselho que posso dar é que entendam quem vocês são como homens, descubram o que importa para vocês, conheçam a si mesmos, saibam o que está em seu coração, não se deixem influenciar pelo medo, por histórias ou opinião de pessoas de fora. Encontrem sua própria verdade. Isso os guiará até as coisas que vocês amam.

Papel e caneta não julgam ninguém. Eles simplesmente recebem a verdade e me permitem virar a página.”

“Sei perfeitamente como o tempo é precioso. Aproveite o momento.”

Stephen Hawking (1942 -2018).

“Campeões não são feitos em academias. Campeões são feitos de algo que eles têm profundamente dentro de si – um desejo, um sonho, uma visão.”

Muhammad Ali (1942 - 2016)

“O desejo profundo da humanidade pelo conhecimento é justificativa suficiente para nossa busca contínua”

Stephen Hawking (1942 -2018).

“Somos apenas poeira de estrelas trazidas à vida, depois dotadas pelo universo do poder de se compreender – e nós apenas começamos.”

Neil deGrasse Tyson (1958 - ...)

"Cada mentira que contamos gera uma dívida com a verdade. Cedo ou tarde, essa dívida será cobrada."

Valeri Alexeevitch Legasov (1936 – 1988).

MATA, D. A. **EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO NO ABACAXIZEIRO ‘PÉROLA’ EM FUNÇÃO DAS DOSES.** Areia – PB. 2020. 50p. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Orientador: Prof.º Dr. Alexandre Paiva da Silva.

RESUMO

Apesar da quantidade considerável de informações referentes à nutrição mineral, pouco se conhece sobre a eficiência nutricional do abacaxizeiro. Este trabalho teve por objetivo estabelecer índices de eficiência nutricional para nitrogênio e potássio no abacaxizeiro ‘Pérola’, em função da aplicação de doses crescentes destes nutrientes. O experimento foi realizado em condições de sequeiro, entre dezembro de 2014 e junho de 2016, em Argissolo Vermelho-Amarelo do município de Itapororoca, Estado da Paraíba. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram arranjos numa Matriz Experimental Plan Puebla III modificada, e resultaram da combinação de cinco doses de N (50, 300, 500, 667 e 950 kg ha⁻¹ - ureia) e cinco doses de K (50, 300, 500, 667 e 950 kg ha⁻¹ K₂O – sulfato de potássio). Utilizaram-se mudas tipo ‘filhote’, plantadas em sistema de fileiras duplas, no espaçamento de 0,80 × 0,40 × 0,40 m. Em amostragem realizada após a colheita, foram determinados massa da matéria seca, teor e acúmulo de N e K nas partes morfológicas raiz, caule, folha, muda, fruto e total. A eficiência nutricional do abacaxizeiro foi avaliada por meio das eficiências de utilização (EFutz), conversão (EFcon), translocação (EFtra), absorção (EFabs) e recuperação (EFrec). As doses de N e K influenciaram de forma isolada e diferenciada os valores de matéria seca, teores e acúmulos desses nutrientes nas partes morfológicas do abacaxizeiro (vegetativas – raiz e caule; reprodutivas – muda e fruto; e total), bem como os valores das diferentes eficiências calculadas. O aumento das doses de N e K aumentaram as EFabs e EFtra e reduziram as EFutz, EFcon e EFrec dos respectivos nutrientes. As EFrec de N e K diminuíram com o aumento das doses aplicadas, passando de 0,82 para 0,15 kg kg⁻¹ e de 0,79 para 0,27 kg kg⁻¹ com a elevação das doses de N e K₂O de 1,2 para 22,8 g planta⁻¹, respectivamente. A taxa de recuperação média de N e K pelo abacaxizeiro ‘Pérola’ foi de 19,0 e 45,0%, respectivamente.

Palavras-chave: *Ananas comosus* comosus; taxa de recuperação; balanço nutricional.

MATA, D. A. **NUTRITIONAL EFFICIENCY OF NITROGEN AND POTASSIUM IN PINEAPPLE 'PÉROLA' AS A FUNCTION OF DOSES.** Areia – PB. 2020. 50p. Dissertation. Soil Science Postgraduate Program. Center of Agrarian Sciences. Federal University of Paraíba. Advisor: Prof. Dr. Alexandre Paiva da Silva.

ABSTRACT

Despite the increasing amount of information regarding mineral nutrition, little is known about the nutritional efficiency of pineapples. This work aimed to establish nutritional efficiency indexes for nitrogen and potassium in the pineapple 'Pérola', due to the application of increasing doses of these nutrients. The experiment was carried out under rainfed conditions, between December 2014 and June 2016, in Argissolo Vermelho-Amarelo in the municipality of Itapororoca, State of Paraíba. The experimental design was a randomized block with three replications. The treatments were arranged in a modified Experimental Plan Plan Puebla III, and resulted from the combination of five doses of N (50, 300, 500, 667 and 950 kg ha⁻¹ - urea) and five doses of K (50, 300, 500, 667 and 950 kg ha⁻¹ K₂O - potassium sulfate). Slips of the type 'young' were used, planted in double rows, with spacing of 0.80 × 0.40 × 0.40 m. In sampling carried out after harvest, dry matter mass, N and K content and accumulation in the root, stem, leaf, seedling, fruit and total morphological parts were determined. The nutritional efficiency of the pineapple was evaluated through the utilization efficiencies (EF_{utz}), conversion (EF_{con}), translocation (EF_{tra}), absorption (EF_{abs}) and recovery (EF_{rec}). The doses of N and K influenced in an isolated and differentiated way the values of dry matter, contents and accumulations of these nutrients in the morphological parts of the pineapple (vegetative - root and stem; reproductive - seedling and fruit; and total), as well as the values of different calculated efficiencies. Increased doses of N and K increased EF_{abs} and EF_{tra} and reduced the EF_{utz}, EF_{con} and EF_{rec} of the respective nutrients. The EF_{rec} of N and K decreased with the increase of the applied doses, going from 0.82 to 0.15 kg kg⁻¹ and from 0.79 to 0.27 kg kg⁻¹ with the increase of the doses of N and K₂O of 1.2 to 22.8 g plant⁻¹, respectively. The average recovery rate of N and K by the 'Perola' pineapple was 19.0 and 45.0%, respectively.

Keywords: *Ananas comosus* comosus; recovery rate; nutritional balance.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	Aspectos gerais da abacaxicultura	12
2.2	Dinâmica de N e K no solo e na planta	13
2.3	Adubação nitrogenada do abacaxizeiro	15
2.4	Adubação potássica do abacaxizeiro	16
2.5	Eficiência Nutricional	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	Local, clima e solo	19
3.2	Delineamento experimental e tratamentos	19
3.3	Instalação e condução do experimento	22
3.4	Variáveis avaliadas	22
3.5	Análise estatística	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1	Massa da matéria seca	24
4.2	Teores	27
4.2.1	Teor de N	27
4.2.2	Teor de K	29
4.3	Acúmulos	32
4.3.1	Acúmulo de N	32
4.3.2	Acúmulo de K	35
4.4	Eficiência nutricional	38
4.4.1	Eficiências de N	38
4.4.2	Eficiências de K	42
5	CONCLUSÕES	46
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A abacaxicultura é uma atividade de alta rentabilidade econômica e de papel social relevante nas regiões onde sua exploração é mais difundida, sendo Costa Rica, Brasil, Filipinas, Tailândia e Indonésia os principais produtores mundiais (CONAB, 2020). No Brasil, o agronegócio do abacaxi encontra-se em franca recuperação, sendo os Estados do Pará, Paraíba, Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Tocantins os principais produtores nacionais (IBGE, 2020).

A demanda crescente por alimentos, fibras e combustíveis se contrapõe às preocupações e o esforço global com os impactos negativos dos sistemas agrícolas altamente tecnificados e pouco conservacionistas sobre a qualidade ambiental. Dessa forma, a agricultura moderna tem o desafio de conciliar o aumento da produtividade com o aumento da eficiência na utilização de recursos, incluindo a eficiência no uso de fertilizantes (PROCHNOW et al., 2009).

De forma geral, a eficiência nutricional expressa a relação entre a produção obtida e a quantidade de fertilizante aplicada. Todavia, esse termo é empregado na literatura de diferentes formas (eficiência agrônômica, eficiência fisiológica, eficiência de utilização, eficiência de translocação e eficiência de recuperação), razão pela qual a interpretação dos seus resultados deve ser feita de forma cautelosa (FAGERIA et al., 2008).

As quantidades de nutrientes absorvidas pelo abacaxizeiro são elevadas, e influenciadas por diversos fatores (clima, solo, cultivar, densidade de plantio, práticas de manejo, produtividade esperada, etc). Nitrogênio (N) e potássio (K) são os nutrientes absorvidos em maiores quantidades pela cultura, e os principais responsáveis pelo aumento da produção e da qualidade das infrutescências, respectivamente (SILVA et al., 2009).

A eficiência nutricional para as culturas anuais é normalmente baixa; por exemplo, em média, a eficiência é de 50% para N, de 10% para P e S e de 40% para K (FAGERIA et al., 2008). Tais valores estão relacionados com condições adversas de clima, solo, planta e suas interações, razão pela qual para se aumentar a eficiência nutricional das culturas torna-se necessário compreender o efeito desses fatores na absorção e na utilização de nutrientes pela planta (AMADO et al., 2013).

A abacaxicultura paraibana está concentrada em áreas de Tabuleiros Costeiros, nas quais predominam solos de textura arenosa, ácidos e de baixa fertilidade natural, os quais são incapazes de suprir a demanda nutricional da cultura, principalmente de N e K. Assim, o sucesso da abacaxicultura nesses solos requer o aporte de doses elevadas e equilibradas desses nutrientes, fato normalmente negligenciado na maioria dos cultivos (RODRIGUES et al., 2013).

A adubação influencia diretamente a produção e a qualidade das culturas. Assim, o entendimento da eficiência de uso dos fertilizantes, da aquisição de nutrientes pelas raízes e parte aérea, bem como da utilização desses pelas plantas para transformação em produto é uma exigência cada vez mais importante para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (FAGERIA et al., 2008).

A dose aplicada é o fator relacionado ao manejo nutricional que mais interfere nos valores de eficiência nutricional das culturas. Teoricamente, a eficiência nutricional diminui com o aumento das doses, se houver resposta da cultura, devido à diminuição relativa da produção com sucessiva adição de nutriente (lei dos rendimentos decrescentes); entretanto, como o produtor recebe maior lucro com a alta produtividade, a melhor eficiência nutricional é normalmente considerada aquela obtida com a dose de nutriente associada à máxima produtividade (WEIH et al., 2010).

Apesar de sua importância para o desenvolvimento e ajustes nos programas de adubação, são bastante escassas na literatura as informações sobre a eficiência nutricional do abacaxizeiro, o que compromete o estabelecimento de recomendações de adubação mais embasadas cientificamente, bem como o desenvolvimento e, ou, o aperfeiçoamento de sistemas de recomendação de fertilizantes e corretivos, a exemplo do FERTCALC[®]-Abacaxi (SILVA, 2006).

Pelo exposto, objetivou-se com o presente trabalho estabelecer índices de eficiência nutricional de nitrogênio e potássio para o abacaxizeiro 'Pérola', em função da aplicação de doses crescentes destes nutrientes, em Argissolo Vermelho-Amarelo da zona abacaxicultora do Estado da Paraíba.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da abacaxicultura

O abacaxi é a quarta fruteira tropical mais consumida no mundo (após banana, manga e laranja), sendo cultivada em mais de 90 países, distribuídos nos cinco continentes. A abacaxicultura é uma atividade de alta rentabilidade econômica, movimentando anualmente US\$ 2 bilhões, e que possui papel social relevante nas regiões onde sua exploração é mais difundida (MAIA et al., 2019).

Os principais produtores mundiais de abacaxi são Costa Rica, Brasil, Filipinas, Tailândia, Indonésia, China, Índia e Nigéria, os quais são responsáveis por aproximadamente 70% da produção mundial, que alcançou 27,4 milhões de t no ano de 2017. Costa Rica e Tailândia são os principais exportadores mundiais, enquanto Estados Unidos, Europa e Japão são os principais importadores de abacaxi. A participação do Brasil no mercado internacional é pouco expressiva, incluindo exportações de abacaxi *in natura*, preparado e processado, além do suco da fruta para os mercados americano e europeu (CONAB, 2020).

No Brasil, o agronegócio do abacaxi encontra-se em franca recuperação, sendo os Estados do Pará, Paraíba, Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Tocantins os principais produtores nacionais (IBGE, 2020). No ano de 2018, a produção nacional foi de 1,8 bilhões de frutos, numa área colhida de aproximadamente 72 mil ha (IBGE, 2020; CONAB, 2020).

A dispersão produtiva é a principal característica da abacaxicultura nacional, pois o cultivo do abacaxi está presente em cerca de 20% dos municípios brasileiros. No entanto, apenas 23 municípios produzem aproximadamente 71% do abacaxi nacional. Ao se restringir a produção superior a 50 milhões de frutos, somente seis municípios são representativos [Itacoatiara (AM), Floresta do Araguaia (PA), Itapororoca (PB), Pedras de Fogo (PB), Frutal (MG) e São Francisco do Itapabapoana (RJ)] (CONAB, 2020).

O Estado da Paraíba foi, no ano de 2018, o segundo produtor nacional de abacaxi, com área colhida de aproximadamente 11 mil ha e produção de 335 milhões de frutos, representando 15% da área colhida e 19% da produção nacional (IBGE, 2020). A zona abacaxicultora paraibana está concentrada nas microrregiões litorâneas, em áreas de Tabuleiros Costeiros, com destaque para os municípios de Pedras de Fogo, Itapororoca, Araçagi, Santa Rita e São Miguel de Taipu, responsáveis por 77% da área colhida e dos frutos comercializados no Estado (IBGE, 2020).

A abacaxicultura paraibana se desenvolve basicamente em áreas de agricultura familiar (< 5 ha), utilizando-se a cultivar ‘Pérola’, sem irrigação, e com baixa adoção de tecnologias (SILVA et al., 2012). Ademais, as recomendações de adubação são baseadas na adaptação de informações geradas em outras regiões produtoras e se limitam a utilização de fórmulas químicas comerciais. A análise de solo é pouco utilizada, assim como a análise foliar, a calagem e a utilização de enxofre e micronutrientes (SILVA et al., 2009).

Recentemente, a CONAB comparou os custos de produção nos municípios de Conceição do Araguaia (PA), Santa Rita (PB) e Arapiraca (AL). O custo de produção em Santa Rita (PB) foi 28,6% maior do que em Conceição do Araguaia e 11,3% maior do que em Arapiraca (AL), devido aos maiores custos de mão de obra (40 e 16%); os gastos com fertilizantes em Santa Rita (PB) foram superiores em 67% em relação ao custo paraense e inferiores em 4,2 % em relação ao custo alagoano. A vantagem de Santa Rita se mostra no resultado da produtividade, que atinge 44,0 t ha⁻¹, contra 27,5 e 21,3 t ha⁻¹ alcançadas em Conceição do Araguaia (PA) e Arapiraca (AL), respectivamente (CONAB, 2020).

2.2 Dinâmica de N e K no solo e na planta

O nitrogênio (N) é um elemento abundante na natureza, perfazendo 78,1% da atmosfera terrestre, constituindo nutriente essencial para todas as formas de vida. Todavia, grande parte do N se encontra em formas gasosas não reativas (N₂), indisponível para uso na maioria dos organismos vivos. As formas disponíveis incluem pequena parte do N reativo [óxidos de nitrogênio (NO_x), nitrogênio reduzido (NH₃), óxido nitroso (N₂O), ácido nítrico (HNO₃) e outras formas orgânicas e inorgânicas], as quais podem ser fixadas por processos naturais e, ou, antropogênicos (STEVENS, 2019).

O N apresenta dinâmica bastante complexa no solo, caracterizada por grande mobilidade e por diversas transformações e reações mediadas por microrganismos, destacando-se, entre elas, mineralização, imobilização, nitrificação e desnitrificação. Ademais, em função de seu elevado dinamismo, o N está sujeito a diversas perdas no sistema solo-planta-atmosfera (lixiviação, imobilização, volatilização, etc) (AMADO et al., 2013).

O N encontra-se no solo predominantemente na forma orgânica – mais de 95,0 % do N total. As frações inorgânicas são compostas principalmente por NH₄⁺ e NO₃⁻, mas baixas concentrações de NO₂⁻ podem ocorrer em algumas situações. Em menores proporções, ocorrem N₂, e outros gases NO_x na atmosfera e na solução do solo (CANTARELLA, 2007).

Os teores de N no solo na forma mineral são baixos, variando desde traços até 5,0 g kg⁻¹ nas camadas superficiais dos solos, diminuindo com a profundidade. O teor de N mineral depende também do tipo de solo, da temperatura e da pluviosidade. O N disponível no solo se encontra, principalmente, na forma de NO₃⁻, com teores entre 2,0 e 60,0 mg kg⁻¹ (DECHEN; NACHTIGAL, 2007).

O N é o nutriente mais requerido pela maioria das culturas, sendo preferencialmente absorvido pelas plantas na forma de nitrato e, ou, amônio. Este nutriente é essencial para a síntese de clorofila e está envolvido no processo de fotossíntese. Ademais, é componente dos aminoácidos, os quais formam as proteínas, além de participar de diversos compostos metabólicos, incluindo hormônios, enzimas e vitaminas (MALAVOLTA, 2006; VIEIRA et al., 2010).

O K é um dos nutrientes mais abundantes nos solos, podendo atingir concentrações de 0,3 a 30,0 g kg⁻¹. Todavia, a grande maioria do K do solo (98,0%) encontra-se na estrutura dos minerais primários e secundários (K estrutural), e só uma estreita fração encontra-se em formas prontamente disponíveis às plantas, seja ligado às cargas elétricas (K trocável), seja na solução do solo (ERNANI et al., 2007).

No solo, o K está presente em quatro formas: a) K estrutural, como componente da estrutura cristalina de minerais primários (micas e feldspatos potássicos); b) K fixado, temporariamente retido entre camadas de argilas laminares expansivas, como illita e montmorilonita; c) K trocável, adsorvido eletrostaticamente nos colóides do solo, e d) K em solução, fração de K dissolvida na solução do solo, sob condições normais de umidade e livre das forças de adsorção (RABÊLO et al., 2013).

Vários são os fatores que afetam a disponibilidade de K para as culturas, podendo-se citar as características mineralógicas do solo, como a natureza e a quantidade de minerais primários ricos em K, o tipo e a quantidade de minerais secundários, além do teor de matéria orgânica e o pH do solo (ROSOLEM et al., 2012).

O K é absorvido pelas plantas na forma catiônica K⁺, sendo requeridas concentrações de 2,0 a 5,0% em termos de matéria seca para o ótimo desenvolvimento da maioria das culturas. Grande parte do K (mais de 75,0%) contido nos tecidos vegetais encontra-se em formas solúveis, razão pela qual em condições de escassez do nutriente no solo, a planta consegue redistribuir o K contido em órgãos de armazenamento através do floema, fazendo com que os sintomas de deficiência apareçam inicialmente nas folhas mais velhas (MALAVOLTA, 2006).

O K tem inúmeras funções nas plantas, destacando-se a ativação de sistemas enzimáticos, especialmente daqueles participantes dos processos de fotossíntese e respiração. Este nutriente atua ainda na síntese de proteínas, de carboidratos e da adenosina trifosfato (ATP), sendo também responsável pela regulação do potencial osmótico das células, abertura e fechamento dos estômatos, translocação de açúcares e permeabilidade das membranas plasmáticas (TAIZ; ZEIGER, 2009; MALAVOLTA, 2006).

2.3 Adubação nitrogenada do abacaxizeiro

A produção do abacaxizeiro está diretamente relacionada com o fornecimento de doses adequadas de N, pois sua carência afeta negativamente o crescimento, a produção e a qualidade dos frutos, uma vez que o mesmo faz parte de uma série de compostos indispensáveis à planta, incluindo clorofila, aminoácidos e proteínas (MALÉZIEUX; BARTHOLOMEW, 2003). Além disso, o N influencia na utilização de carboidratos, aumentando o número e o peso de folhas, bem como o vigor da planta (HEPTON, 2003).

Nas principais regiões produtoras de abacaxi no mundo, incluindo o Brasil, as recomendações de N variam entre 6 e 10 g planta⁻¹ (SILVA, 2006). Entretanto, devido a influência de fatores como nível tecnológico adotado, destino da produção e rentabilidade da cultura, entre outros, há necessidade de se estabelecer doses de acordo com as particularidades dos sistemas de produção local (SOUZA, 2000).

As recomendações de N para o abacaxizeiro contidas nas tabelas de adubação no Brasil são amplas (50 a 600 kg ha⁻¹) e sem padronização de critérios adotados para sua definição. Com exceção dos estados de São Paulo e do Rio Grande do Sul, as quais contemplam os efeitos da produtividade e do teor de matéria orgânica do solo, respectivamente, as demais tabelas recomendam doses fixas (SILVA et al., 2009).

Diversos trabalhos têm revelado respostas positivas do aumento das doses de N sobre o crescimento e a produção do abacaxizeiro (VELOSO et al., 2001; TEIXEIRA et al., 2002; SPIRONELLO et al., 2004). Em trabalho realizado na microrregião de Sapé, em condições de sequeiro, com a cultivar ‘Pérola’, Silva (2006) verificou que a dose de N necessária para maximizar a produção (53,3 t ha⁻¹) foi de 401,3 kg ha⁻¹ e que a dose de máxima eficiência econômica (52,5 t ha⁻¹) foi de 312 kg ha⁻¹ de N. Guarçoni e Ventura (2011) estudando a resposta do abacaxizeiro ‘MD2-Gold’ às doses de N, variando de 0 a 1000 kg ha⁻¹, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, observaram que o aumento das doses de N incrementou o

crescimento vegetativo, a massa do fruto e a produtividade da cultura. Os autores estimaram dose de máxima eficiência física de $651,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, constataram que doses inferiores reduziram as características de qualidade dos frutos, e estimaram nível crítico foliar de $17,2 \text{ g kg}^{-1}$.

Silva et al. (2012) avaliaram a resposta do abacaxizeiro ‘Vitória’, em termos de crescimento vegetativo, nutrição mineral, produção e qualidade dos frutos à aplicação de doses N (100 a 600 kg ha^{-1}) em Espodossolo do Estado da Paraíba. Constataram que a elevação das doses de N aumentou o comprimento e o peso da folha ‘D’. O teor foliar máximo foi de $15,1 \text{ g kg}^{-1}$ de N, obtido na dose de 406 kg ha^{-1} de N e a produção máxima ($37,8 \text{ t ha}^{-1}$) foi obtida com a dose de 439 kg ha^{-1} de N. As doses de N não influenciaram os atributos de qualidade dos frutos.

Em trabalho realizado com o abacaxizeiro ‘Vitória’, na região norte de Minas Gerais, sob condições de irrigação, Cardoso et al. (2013) observaram incrementos lineares nos valores de massa da matéria fresca da folha ‘D’ e produtividade da cultura com a aplicação de doses de N variando de 0 até 20 g planta^{-1} , aplicadas na forma de ureia.

2.4 Adubação potássica do abacaxizeiro

Apesar da elevada demanda, o K é o nutriente que menos influencia o peso dos frutos e, por conseguinte a produtividade do abacaxizeiro, mesmo quando se utilizam doses elevadas (1000 kg ha^{-1} de K_2O), o que se deve, possivelmente, a disponibilidade média ou alta de K dos solos das áreas experimentais (RODRIGUES et al., 2010). Contudo, os efeitos do K na cultura do abacaxi estão mais relacionados à qualidade dos frutos, pois uma nutrição potássica adequada melhora as características organolépticas dos frutos, aumentando os teores de açúcares, a acidez e a firmeza da polpa (PAULA et al., 1998).

Nas principais regiões produtoras de abacaxi no mundo, incluindo o Brasil, as recomendações de K variam entre $4,0$ e $15,0 \text{ g planta}^{-1}$ de K_2O (SILVA, 2006). Ademais, as doses de K recomendadas para o abacaxizeiro nas tabelas de adubação dos principais estados produtores do país variam de 200 a 700 kg ha^{-1} de K_2O .

Vários trabalhos relatam respostas positivas da adubação potássica sobre a produção e a qualidade de frutos de diferentes cultivares de abacaxizeiros (VELOSO et al., 2001; TEIXEIRA et al., 2002; SPIRONELLO et al. 2004). Spironello et al. (2004) estudando a resposta do abacaxizeiro ‘Smooth Cayenne’, em Latossolo Vermelho-Amarelo, com doses

variando de 0 a 700 kg ha⁻¹ de K₂O, constataram que a produção máxima (72,0 t ha⁻¹) foi obtida com 394 kg ha⁻¹ de K₂O, associada a um nível crítico foliar de 37,2 g kg⁻¹ de K.

Guarçoni e Ventura (2011) estudando a resposta do abacaxizeiro ‘MD2-Gold’, às doses de K variando de 0 a 1000 kg ha⁻¹ de K₂O, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, verificaram que a produção máxima (65,4 t ha⁻¹) foi obtida com a dose de 736 kg ha⁻¹ ou 14,4 g planta⁻¹ de K₂O, associado a um nível crítico foliar de 43,6 g kg⁻¹ de K.

Avaliando o efeito de doses de K (0-600 kg ha⁻¹ de K₂O) na cultivar ‘Vitória’, nas condições edafoclimáticas do Espírito Santo, Caetano et al. (2013) verificaram que as doses de K não influenciaram a produção da cultura e a qualidade dos frutos.

Ao estudarem o efeito das relações K/N sobre crescimento, produção, nutrição mineral e qualidade dos frutos do abacaxizeiro ‘Pérola’, na região de Tabuleiros Costeiros do Estado da Paraíba, Rodrigues et al. (2013) constataram que o aumento das doses de K elevou o crescimento e os teores foliares de K, mas não influenciou a produção e qualidade dos frutos. Resultados semelhantes foram relatados por Oliveira et al. (2015), com o abacaxizeiro ‘BRS imperial’, no município de Porto Seguro, Estado da Bahia.

2.5 Eficiência nutricional

O termo ‘eficiência nutricional’ é utilizado para caracterizar a capacidade das plantas em absorver e utilizar nutrientes, estando relacionado à eficiência de absorção, translocação e utilização de nutrientes (AMARAL et al., 2011). Todavia, esse termo possui diversas definições e interpretações, que variam conforme o tipo e os objetivos da pesquisa (PEREIRA, 1999).

Conforme Fageria (1992), a eficiência nutricional das culturas pode ser calculada de diferentes formas. A eficiência agrônômica (EA) ou econômica indica a produção obtida por unidade de nutriente aplicada. A eficiência fisiológica (EF) ou biológica refere-se à produção de matéria seca total obtida por unidade de nutriente acumulada, enquanto que a eficiência de rendimento (ER_n) expressa a produção obtida por unidade de nutriente acumulada. A eficiência de recuperação (ER) ou de aquisição refere-se à quantidade de nutriente acumulada por unidade de nutriente aplicada, enquanto que a eficiência de utilização (EU) expressa o produto das eficiências fisiológica e de recuperação (FAGERIA, 1998; PROCHNOW et al., 2009).

A ER indica a capacidade da planta em absorver nutrientes provenientes dos fertilizantes, podendo ser entendida, em termos práticos, como a quantidade de nutriente absorvida por unidade de nutriente aplicada (SILVA, 2006). Os valores de ER, geralmente

expressos em percentagem, são calculados pela razão entre o acúmulo de nutrientes de uma planta fertilizada e não fertilizada e a quantidade de nutriente aplicada via fertilização (FAGERIA, 1998).

Os valores da ER são influenciados por fatores edáficos (pH, capacidade tampão, teor de matéria orgânica e umidade do solo), climáticos (temperatura, radiação e precipitação), da própria planta (cultivar, idade e balanço nutricional) e de manejo (sistema de cultivo, dose, fonte e forma de aplicação de fertilizantes), sendo a magnitude de influência destes fatores, também, variável em função do nutriente considerado (SANTOS et al., 2008).

A dose do nutriente é considerada, dentre os fatores relacionados ao manejo nutricional, como sendo aquele que mais interfere nas taxas de recuperação de nutrientes pelas culturas, o que se deve a capacidade limitada da planta para absorver toda a quantidade de nutriente aplicada (SILVA, 2006).

Apesar da quantidade considerável de informações referentes à nutrição mineral da do abacaxizeiro na literatura, pouco se conhece sobre a eficiência nutricional dessa cultura. San Jose et al. (2007) constataram que a eficiência de recuperação de N do fertilizante (ureia enriquecida na forma de ^{15}N) pelo abacaxizeiro ‘Red Spanish’ foi de 48%, dos quais apenas 2,7% foi recuperado pelos frutos. Cerca de 10% do fertilizante enriquecido foi incorporado ao solo na forma de N total e 5% na forma de N disponível, tendo as perdas por volatilização e desnitrificação totalizado 21% do total aplicado. Ademais, a eficiência de utilização foi de 138 g g^{-1} , enquanto que o índice de colheita, expresso pelo acúmulo de N nos frutos, mudas e coroa em relação ao acúmulo total, foi de 0,27.

Ao avaliar a eficiência de recuperação de K (dose de 554 kg ha^{-1} na forma de KCl aos 83, 144, 209 e 263 dias após o plantio) pelo abacaxizeiro ‘Gandul’, em solos turfosos da Malásia, Ahmed et al. (2006) constataram que apenas 28,2% da dose aplicada foi recuperada pela planta, fato que associaram as perdas por lixiviação. Verificaram ainda que ao contrário do observado para raiz, coroa e pedúnculo houve maior acúmulo de K no caule, folha e frutos das plantas adubadas em relação as não adubadas.

Estudos preliminares realizados por Silva (2006) com o abacaxizeiro ‘Pérola’, em Argissolo Amarelo de Sapé, revelou ampla variação nas eficiências de recuperação de N (0,20 a $0,72 \text{ kg kg}^{-1}$) e K (0,13 a $0,91 \text{ kg kg}^{-1}$), influenciadas, possivelmente, pelas doses aplicadas e pelas interações entre os nutrientes, estimando-se valores médios de 41,0% para N e 45,0% para K.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local, clima e solo

O estudo constou de um experimento de adubação, realizado no período de dezembro de 2014 a junho de 2016, na propriedade Quandu, localizada no município de Itapororoca (6° 49'48"S, 35° 14'49"W e altitude de 81 m), o qual pertence a microrregião do Litoral Norte, integrante da mesorregião da Mata Paraibana e inserido na unidade geoambiental de Tabuleiros Costeiros Paraibanos.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante é do tipo As' (quente e úmido), com chuvas de outono-inverno, temperatura média de 25°C e precipitação anual de 1.634.2 mm (CPRM, 2005).

O solo da área experimental está classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2006) e o relevo local é do tipo suave ondulado (BRASIL, 1972). Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo, na profundidade de 0,20 m, para fins de caracterização química (TEDESCO et al., 1995) e física (EMBRAPA, 1997) (Tabela 1).

3.2. Delineamento e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com 26 tratamentos e três repetições, totalizando 78 unidades experimentais. Os tratamentos foram arranjados numa matriz experimental Plan Puebla III modificada ($2^k + 2k + 1 + 1$) e resultaram da combinação de cinco doses de N (1,2; 7,2; 12; 16 e 22,8 g/planta), cinco doses de P (0,48; 2,8; 4,8; 6,7 e 9,1 g/planta P_2O_5), cinco doses de K (1,2; 7,2; 12; 16 e 22,8 g/planta K_2O) e cinco doses de S (0,48; 2,8; 4,8; 6,7 e 9,1 g/planta) (Tabela 2).

A unidade experimental constou de três fileiras duplas, contendo 12 plantas em cada fileira simples, totalizando 72 plantas por parcela numa área de 13,4 m². Foi considerada como parcela útil a fileira dupla central, totalizando 24 plantas.

As doses de N e K foram parceladas em quatro aplicações (70, 110, 200 e 290 dias após o plantio - dap), utilizando-se 6 g/planta da fórmula comercial 20-10-20 aos 70dap e as fontes ureia (45% de N) e sulfato de potássio (50% de K_2O e 17% de S) nas demais aplicações, respectivamente. As doses de P foram divididas em duas aplicações, sendo a primeira aos 70dap (20-10-20) e a segunda aos 110 dap na forma de MAP (52% de P_2O_5 e 10% de N). As doses de

S foram parceladas em quatro aplicações (70, 110, 200 e 290dap), utilizando-se a fonte sulfato de potássio.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo da área experimental, na profundidade de 0,20m, antes da instalação do experimento.

Atributo	Valor
pH, água 1:2,5	4,80
MO ^{1/} , g kg ⁻¹	18,3
P disponível ^{2/} , mg dm ⁻³	25,6
P-rem ^{3/} , mg L ⁻¹	31,9
CMAP ^{4/} , mg g ⁻¹	0,338
K ⁺ ^{2/} , mg dm ⁻³	52,4
Ca ²⁺ ^{5/} , cmol _c dm ⁻³	1,30
Mg ²⁺ ^{5/} , cmol _c dm ⁻³	0,25
SO ₄ ²⁻ ^{6/} , mg dm ⁻³	14,2
Na ⁺ ^{2/} , cmol _c dm ⁻³	0,19
H + Al ^{7/} , cmol _c dm ⁻³	5,70
Al ³⁺ ^{5/} , cmol _c dm ⁻³	0,55
SB, cmol _c dm ⁻³	1,87
t, cmol _c dm ⁻³	2,42
T, cmol _c dm ⁻³	7,57
V, %	24,7
B ^{8/} , mg dm ⁻³	0,40
Cu ^{2/} , mg dm ⁻³	0,13
Fe ^{2/} , mg dm ⁻³	37,5
Mn ^{2/} , mg dm ⁻³	25,1
Zn ^{2/} , mg dm ⁻³	0,82
Areia, g kg ⁻¹	763
Silte, g kg ⁻¹	74
Argila ^{9/} , g kg ⁻¹	173
Classe textural	Franco Arenosa
Dens. Solo ^{10/} , g cm ⁻³	1,56
Porosidade total, m ³ m ⁻³	0,40
Mineralogia da fração argila ^{11/}	Ct,Gt

MO = Matéria orgânica; SB = Soma de bases (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺); t = capacidade de troca catiônica efetiva (SB + Al³⁺); T = Capacidade de troca catiônica a pH (SB + H + Al); V = Saturação por bases = (SB/T) × 100; ^{1/} Walkley e Black; ^{2/} Mehlich-1; ^{3/} Fósforo remanescente (Alvarez V. et al., 2000); ^{4/} Capacidade máxima de adsorção de P; ^{5/} KCl 1 mol L⁻¹; ^{6/} Fosfato monocálcico (500 mg L⁻¹ em ácido acético 2 mol L⁻¹); ^{7/} Acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0; ^{8/} Água quente. ^{9/} Método do Hidrômetro (Bouyoucos); ^{10/} Densidade medida pelo método do torrão parafinado; ^{11/} Conforme Farias et al. (2009); Ct = caulinita; Gt = goethita.

Além das doses de N, P, K e S, as plantas de todos os tratamentos receberam 2,5 g planta⁻¹ de FTE BR 12 (9% de Zn, 1,8% de B, 0,8% de Cu, 3% de Fe e 2% de Mn) parceladas em duas aplicações (aos 200 e 290 dap). A aplicação dos adubos, tanto os macro quanto os micronutrientes, foi feita no solo, junto à base da planta.

Tabela 2. Níveis e doses de N, P, K e S dos tratamentos avaliados, conforme a matriz Plan Puebla III modificada.

Tratamento	Nível				Dose (g planta ⁻¹)			
	N	P	K	S	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
1	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	7,2	2,8	7,2	2,8
2	-0,4	-0,4	-0,4	0,4	7,2	2,8	7,2	6,7
3	-0,4	-0,4	0,4	-0,4	7,2	2,8	16	2,8
4	-0,4	-0,4	0,4	0,4	7,2	2,8	16	6,7
5	-0,4	0,4	-0,4	-0,4	7,2	6,7	7,2	2,8
6	-0,4	0,4	-0,4	0,4	7,2	6,7	7,2	6,7
7	-0,4	0,4	0,4	-0,4	7,2	6,7	16	2,8
8	-0,4	0,4	0,4	0,4	7,2	6,7	16	6,7
9	0,4	-0,4	-0,4	-0,4	16	2,8	7,2	2,8
10	0,4	-0,4	-0,4	0,4	16	2,8	7,2	6,7
11	0,4	-0,4	0,4	-0,4	16	2,8	16	2,8
12	0,4	-0,4	0,4	0,4	16	2,8	16	6,7
13	0,4	0,4	-0,4	-0,4	16	6,7	7,2	2,8
14	0,4	0,4	-0,4	0,4	16	6,7	7,2	6,7
15	0,4	0,4	0,4	-0,4	16	6,7	16	2,8
16	0,4	0,4	0,4	0,4	16	6,7	16	6,7
17	-0,9	-0,4	-0,4	-0,4	1,2	2,8	7,2	2,8
18	0,9	0,4	0,4	0,4	22,8	6,7	16	6,7
19	-0,4	-0,9	-0,4	-0,4	7,2	0,48	7,2	2,8
20	0,4	0,9	0,4	0,4	16	9,1	16	6,7
21	-0,4	-0,4	-0,9	-0,4	7,2	2,8	1,2	2,8
22	0,4	0,4	0,9	0,4	16	6,7	22,8	6,7
23	-0,4	-0,4	-0,4	-0,9	7,2	2,8	7,2	0,48
24	0,4	0,4	0,4	0,9	16	6,7	16	9,1
25	0	0	0	0	12	4,8	12	4,8
26	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	1,2	0,48	1,2	0,48

3.3. Instalação e condução do experimento

O plantio foi realizado em 17 de dezembro de 2014, após as operações de preparo do solo, que constaram de subsolagem, até a profundidade de 0,40 m, duas gradagens cruzadas e abertura dos sulcos de plantio.

A calagem foi realizada aos 60 dias antes do plantio, utilizando-se $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico (PRNT = 62 %), com aplicação feita em área total na profundidade de 0,20 m. A necessidade de calagem (NC) foi calculada pelo método da neutralização do Al^{3+} e suprimento de Ca e Mg (ALVAREZ V.; RIBEIRO, 1999).

Foram utilizadas mudas do tipo filhote do abacaxizeiro ‘Pérola’, previamente selecionadas (peso de 578 g e 64 cm de comprimento) e tratadas quimicamente, com Parathion metílico a 0,1% do princípio ativo. As mudas foram plantadas no sistema de fileiras duplas, no espaçamento de $0,80 \times 0,40 \times 0,40 \text{ m}$, resultando numa densidade teórica de $41.667 \text{ plantas ha}^{-1}$.

Os tratos culturais referentes ao controle de plantas daninhas e ao controle preventivo de pragas (cochonila e broca dos frutos) e doenças (fusariose) foram realizados conforme as recomendações para o sistema de produção local (OLIVEIRA et al., 2002). O experimento foi conduzido em condições de sequeiro, com irrigação suplementar por meio de aspersão, nos períodos de menor precipitação (entre agosto e dezembro).

A indução floral foi feita aos 12 meses após o plantio (map), mediante aplicação de $50 \text{ mL planta}^{-1}$ de solução de carbureto de cálcio a 1%, no centro da roseta foliar (OLIVEIRA et al., 2002). A colheita foi realizada aos 18 map, ocasião em que os frutos da área útil foram contados, pesados, classificados e os valores extrapolados para t ha^{-1} .

3.4. Variáveis avaliadas

Após a colheita, foram selecionadas duas plantas de cada unidade experimental. Após separadas, foram quantificadas as massas da matéria fresca das partes vegetativas (raiz, caule e folha) e reprodutivas (fruto e muda). Em laboratório, as amostras foram lavadas e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C , até peso constante. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley (malha de 2 mm) e retiradas sub amostras para determinação dos teores de N e K, conforme Tedesco et al. (1995).

Os acúmulos de N e K de cada parte morfológica foram obtidos multiplicando-se o teor de cada nutriente pela respectiva massa de matéria seca, sendo o acúmulo total estimado pelo somatório N e K em todas as partes morfológicas.

A eficiência nutricional do abacaxizeiro foi avaliada por meio da determinação das eficiências de utilização, conversão, translocação, absorção e recuperação, estabelecidas a partir das seguintes expressões (LI et al., 1991; SWIADER et al., 1994; FAGERIA, 1992):

Eficiência de utilização (EU) $\rightarrow$ (mg de matéria seca mg^{-1} de N ou K)

= (massa da matéria seca da planta inteira) / (acúmulo de N ou K na matéria seca da planta inteira)

Eficiência de conversão (EC) $\rightarrow$ (mg mg^{-1})

= (massa da matéria seca da planta inteira) / (acúmulo de N ou K na matéria seca da parte aérea)

Eficiência de translocação (ET) $\rightarrow$ (%)

= (acúmulo de N ou K na matéria seca da parte aérea) / (acúmulo de N ou K na matéria seca da planta inteira)

Eficiência de absorção (EA) $\rightarrow$ (mg mg^{-1})

= (acúmulo de N ou K na matéria seca da planta inteira) / (massa da matéria seca da raiz)

Eficiência de recuperação (ER) $\rightarrow$ (%)

= (acúmulo de N ou K na matéria seca da planta inteira adubada - acúmulo de N ou K na matéria seca da planta inteira não adubada) / (dose de N ou K aplicada via fertilizante).

3.5. Análise estatística

Os dados foram inicialmente submetidos às análises de variância ($p \leq 0,05$); em seguida, os efeitos dos fatores doses de N e K foram analisados por meio de regressão polinomial ou superfície de resposta quando se observou significância para a interação ($p < 0,10$). A escolha dos modelos de regressão foi feita com base na significância dos efeitos dos fatores ($p < 0,10$), no significado biológico do fenômeno estudado e no coeficiente de determinação. Em todas as análises foi utilizado o software SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa da matéria seca

As doses de N e K influenciaram de forma isolada (a interação $N \times K$ foi não significativa) os valores de massa da matéria seca das diferentes partes morfológicas do abacaxizeiro. As doses de N influenciaram os valores de massa seca de raiz (MSrz), frutos (MSfru), muda (MSmu) e total (MSto), enquanto que as doses de K influenciaram apenas os valores de matéria seca de caule (MSca). Por outro lado, os valores de massa da matéria seca da folha (MSfo) não foram influenciados pelas doses de N e K aplicadas (Tabela 3).

Tabela 3. Equações de regressão ajustadas e valores de R^2 para as variáveis massa da matéria seca de raiz (MSrz), caule (MSca), folha (MSfo), fruto (MSfr), muda (MSmu) e total (MSto) do abacaxizeiro ‘Pérola’, em função das doses de N e K aplicadas.

Variável	Equação	R^2
MSrz	$\hat{y} = 62,696 - 0,9162^{***}N$	0,87
MSca	$\hat{y} = 100,85 + 1,5213^0K$	0,81
MSfo	$\hat{y} = \bar{y} = 318,83$	-
MSfr	$\hat{y} = 171,18 + 3,9728^{***}N - 0,1017^*N^2$	0,92
MSmu	$\hat{y} = 76,09 + 11,42^{***}N - 0,3638^*N^2$	0,99
MSto	$\hat{y} = 797,44 + 3,96^*N$	0,22

***, **, *, ⁰ e ^{ns} significativo a 0,1; 1,0; 5,0; 10,0 e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

Os valores de matéria seca de raiz diminuíram linearmente com a elevação das doses de N, estimando-se valor máximo (62,7 g) com a dose de 1,2 g planta⁻¹. Os valores de matéria seca de fruto (MSfr) e de mudas (MSmu) aumentaram de forma quadrática com as doses de N, estimando-se valores máximos de 165,7 e 210,0 g, com as doses de 15,7 e 19,5 g planta⁻¹ de N, respectivamente. Por outro lado, os valores de MSto aumentaram linearmente em função das doses de N, estimando-se valor máximo de 888,0 g com a dose de 22,8 g planta⁻¹ de N (Tabelas 3 e 4).

Tabela 4. Valores de massa da matéria seca (MS) das porções morfológicas raiz (Rz), caule (Ca), folha (Fo), mudas (Mu), fruto (Fru) e Total (Total) do abacaxizeiro ‘Pérola’ em função de doses de N e K aplicadas.

Dose				Matéria Seca					
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Rz	Ca	Fo	Mu	Fru	Total
-----g planta ⁻¹ -----				-----g planta ⁻¹ -----					
7,2	2,8	7,2	2,8	47,0	96,9	258,1	166,4	205,5	774,2
7,2	2,8	16	6,7	50,5	122,6	356,0	138,9	194,6	862,5
7,2	2,8	7,2	2,8	44,6	110,3	299,9	108,1	206,5	769,4
7,2	2,8	16	6,7	67,2	109,4	248,9	164,3	201,7	791,6
7,2	6,7	7,2	2,8	48,9	122,4	331,8	100,9	214,9	960,9
7,2	6,7	16	6,7	75,7	132,4	404,9	184,4	204,0	1001,3
7,2	6,7	7,2	2,8	46,8	119,7	307,4	91,3	201,0	766,1
7,2	6,7	16	6,7	67,3	162,0	343,0	182,3	208,3	962,6
16	2,8	7,2	2,8	36,9	135,2	356,2	78,0	193,0	799,3
16	2,8	7,2	6,7	51,1	149,2	258,2	179,9	207,2	845,8
16	2,8	16	2,8	29,7	107,9	223,5	133,2	214,0	708,3
16	2,8	16	6,7	47,1	128,2	411,2	132,0	197,0	915,5
16	6,7	7,2	2,8	40,2	134,3	285,9	191,6	207,0	858,9
16	6,7	7,2	6,7	47,3	95,0	274,1	242,8	219,8	878,9
16	6,7	16	2,8	50,2	122,3	313,5	180,1	217,5	883,6
16	6,7	16	6,7	50,3	140,5	363,3	150,1	213,8	918,1
1,2	2,8	7,2	2,8	69,4	136,0	323,7	90,7	171,2	791,0
22,8	6,7	16	6,7	44,3	105,5	293,7	145,7	209,8	832,3
7,2	0,48	7,2	2,8	40,7	128,7	360,3	166,0	185,5	881,3
16	9,1	16	6,7	36,8	128,7	362,1	198,1	216,5	942,3
7,2	2,8	1,2	2,8	51	91,8	267,2	89,9	186,2	686,1
16	6,7	22,8	6,7	44,7	136,1	317,9	159,3	189,5	847,3
7,2	2,8	7,2	0,48	48,5	100,6	309,5	109,1	200,7	768,5
16	6,7	16	9,1	53,1	129,2	341,03	235,8	217,3	976,4
12	4,8	12	4,8	53,3	111,7	413,0	158,5	199,4	936,0
1,2	0,48	1,2	0,48	58,3	107,4	265,2	91,0	176,3	698,2

O efeito positivo das doses de N sobre os valores de Msfr, MSmu e MSto se deveu a maior disponibilidade e translocação de fotoassimilados das partes vegetativas (folha e caule) para as reprodutivas (muda e fruto). Além de fazer parte da estrutura de aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos, e produtos secundários, o N participa de diversos processos metabólicos (absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular), os quais interferem direta ou indiretamente no crescimento, desenvolvimento e produção do abacaxizeiro (MALÉZIEUX; BARTHOLOMEW, 2003).

Por outro lado, o efeito negativo das doses de N na MSrz se deve, provavelmente, à saturação dos sistemas de redução de N nas raízes, visto que doses excessivas de N podem alterar o potencial de assimilação e a partição de assimilados, reduzindo, assim, a massa do sistema radicular (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012).

A ausência de efeitos das doses de N sobre os valores de MSfo e MSca pode ser explicada por eventuais desequilíbrios nutricionais envolvendo formas de N, ocorridos durante a fase vegetativa da cultura, pois o suprimento adequado de N torna-se essencial para manter altas taxas de crescimento, uma vez que esse nutriente é constituinte de aminoácidos e proteínas (MALÉZIEUX; BARTHOLOMEW, 2003). Pinheiro Neto (2009) também não observou influência das doses de N (145 a 441 kg ha⁻¹) sobre o número e a matéria seca da folha 'D' do abacaxizeiro 'Gold MD-2'.

Vale ressaltar que a época de amostragem das plantas (após a colheita dos frutos) pode também ter interferido nos resultados obtidos, pois após a indução floral grande parte do N absorvido é transformado em outros compostos orgânicos e redistribuídos para as porções morfológicas fruto e mudas, as quais apresentam, nessa fase, maior demanda deste nutriente (SILVA, 2016).

Com relação as doses de K, observou-se que os valores de matéria seca de caule (MSca) aumentaram linearmente com as doses de K, estimando-se valor máximo de 135,5 g com a dose de 22,8 g planta⁻¹ de K₂O (Tabelas 3 e 4).

O efeito positivo das doses de K sobre os valores de MSca se deve ao fato de o caule ser considerado uma estrutura de reserva desse nutriente no abacaxizeiro, o qual está envolvido na ativação de vários sistemas enzimáticos, em processos osmóticos que envolvem absorção e armazenamento de água, abertura e fechamento de estômatos, transporte e carregamento da sacarose no floema e aumento da taxa fotossintética dos cloroplastos (TAIZ; ZEIGER, 2009; MAIA et al., 2019). Aumento nos valores de MSca com a elevação das doses de K foram

também registrados por Couto (1991) para o abacaxizeiro ‘Pérola’, em solos do Triângulo Mineiro, corroborando, assim, os resultados obtidos neste trabalho.

4.2 Teores

4.2.1 Teor de N

As doses de N e K também influenciaram de forma isolada os teores de N nas diferentes partes morfológicas do abacaxizeiro. As doses de N influenciaram os teores de N no caule (TNca) e na folha (TNfo), enquanto que as doses de K influenciaram os teores de N na raiz (TNrz) e TNca. Por outro lado, as doses de N e K não influenciaram os teores de N nos frutos (TNfr) e mudas (TNmu), estimando-se valores médios para essas variáveis (Tabela 5).

Tabela 5. Equações de regressão ajustadas e valores de R^2 para os teores de N nas porções morfológicas raiz (TNrz), caule (TNca), folha (TNfo), fruto (TNfr) e mudas (TNmu) do abacaxizeiro ‘Pérola’, em função das doses de N e K aplicadas.

Variável	Equação	R^2
TNrz	$\hat{y} = 0,4634 - 0,0152^{ns} K + 0,0008^{**} K^2$	0,99
TNca	$\hat{y} = 0,4821 + 0,004^{*} N$	0,40
	$\hat{y} = 0,5604 - 0,0126^{ns} K + 0,0007^{*} K^2$	0,89
TNfo	$\hat{y} = 0,8793 - 0,0076^{***} N + 0,0011^{*} N^2$	0,92
TNfr	$\hat{y} = \bar{y} = 0,46$	-
TNmu	$\hat{y} = \bar{y} = 0,74$	-

***, **, *,^o e ^{ns} significativo a 0,1; 1,0; 5,0; 10,0 e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

Os TNca e TNfo aumentaram, respectivamente, de forma linear e quadrática com as doses de N, estimando-se teores máximos de 0,57 e 1,28 dag kg⁻¹ com a dose 22,8 g planta⁻¹ de N. Os TNrz e TNca aumentaram de forma quadrática com as doses de K, estimando-se teores máximos de 0,64 e 0,53 dag kg⁻¹, com a dose 22,8 g planta⁻¹ de K₂O (Tabela 5).

Tabela 6. Teor de N nas porções morfológicas raiz (Rz), caule (Ca), folha (Fo), fruto (Fru) e mudas (Mu) do abacaxizeiro ‘Pérola’, em função de doses de N e K aplicadas.

Dose				Teor de N				
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Rz	Ca	Fo	Mu	Fru
-----g planta ⁻¹ -----				-----g planta ⁻¹ -----				
7,2	2,8	7,2	2,8	0,40	0,27	0,92	0,74	0,41
7,2	2,8	16	6,7	0,38	0,39	1,00	0,76	0,45
7,2	2,8	7,2	2,8	0,38	0,40	1,05	0,61	0,46
7,2	2,8	16	6,7	0,39	0,48	1,00	0,72	0,49
7,2	6,7	7,2	2,8	0,37	0,48	0,97	0,58	0,46
7,2	6,7	16	6,7	0,42	0,38	0,86	0,60	0,45
7,2	6,7	7,2	2,8	0,36	0,46	0,89	0,56	0,46
7,2	6,7	16	6,7	0,54	0,54	1,00	0,74	0,46
16	2,8	7,2	2,8	0,44	0,44	1,00	0,71	0,45
16	2,8	7,2	6,7	0,33	0,48	1,01	0,65	0,46
16	2,8	16	2,8	0,34	0,56	1,07	0,76	0,44
16	2,8	16	6,7	0,51	0,64	1,21	0,92	0,42
16	6,7	7,2	2,8	0,36	0,57	1,01	0,70	0,45
16	6,7	7,2	6,7	0,52	0,68	1,03	0,77	0,49
16	6,7	16	2,8	0,39	0,59	0,94	0,69	0,50
16	6,7	16	6,7	0,53	0,60	1,06	0,79	0,47
1,2	2,8	7,2	2,8	0,42	0,53	0,88	0,72	0,45
22,8	6,7	16	6,7	0,45	0,58	1,28	0,85	0,49
7,2	0,48	7,2	2,8	0,47	0,51	1,00	0,84	0,47
16	9,1	16	6,7	0,39	0,59	0,88	0,75	0,43
7,2	2,8	1,2	2,8	0,42	0,58	0,94	0,85	0,47
16	6,7	22,8	6,7	0,55	0,61	0,99	0,86	0,46
7,2	2,8	7,2	0,48	0,36	0,44	0,89	0,68	0,49
16	6,7	16	9,1	0,40	0,50	0,94	0,71	0,48
12	4,8	12	4,8	0,40	0,52	0,90	0,92	0,47
1,2	0,48	1,2	0,48	0,47	0,53	0,81	0,74	0,48

O aumento dos TNca e TNfo com a elevação das doses de N se deve a participação do N na estrutura de compostos orgânicos de diferentes solubilidades e em diversos processos

fisiológicos desempenhados por esses órgãos (MAIA et al., 2019). Tais resultados corroboram aqueles encontrados por outros autores trabalhando com adubação nitrogenada de diferentes cultivares de abacaxizeiro (SPIRONELLO et al., 2004; GUARÇONI & VENTURA, 2011; SILVA et al., 2012).

A ausência de efeito das doses de N no TN_{rz} está, possivelmente, relacionada a ação de carregadores específicos no transporte de N através de membranas. Em geral, a absorção de N é modulada pelos carregadores específicos, pela afinidade desses carregadores em relação ao nitrato e, ou, amônio e, ainda pela quantidade de N presente no solo. Assim, quando a concentração de N é alta, operam os carregadores específicos e de baixa afinidade, caracterizados por serem constitutivos e não sujeitos à regulação (FERNANDES, 2006).

Quanto aos efeitos do K, o efeito positivo das doses de K nos TN_{rz} e TN_{ca} se deve ao envolvimento do K no metabolismo nitrogenado, incluindo os processos de absorção e assimilação de amônio, e especialmente na redutase do nitrato (MALAVOLTA, 2006). Conforme Teixeira et al. (2011ab), K e N têm ação complementar nos aspectos fisiológicos do abacaxizeiro, os quais incluem osmorregulação e síntese proteica, respectivamente.

Apesar da ausência de efeitos das doses de N e K, bem como da falta de ajuste aos modelos de regressão testados, os TN_{mu} e TN_{fru} obtidos no presente trabalho (0,74 e 0,46 dag kg⁻¹) estão próximos daqueles (1,38 e 0,41 dag kg⁻¹) reportados por Silva (2006) para o abacaxizeiro ‘Pérola’ cultivado em Argissolo Amarelo de sapé.

4.2.2 Teor de K

Similarmente ao que ocorreu para os teores de N, as doses de N e K também influenciaram de forma isolada os teores de K nas diferentes partes morfológicas do abacaxizeiro. Assim, as doses de N influenciaram apenas os teores de K no caule (TK_{ca}) e no fruto (TK_{fr}), enquanto que as doses de K influenciaram os teores de K de todas as partes morfológicas, com exceção da muda (Tabela 7).

Tabela 7. Equações de regressão ajustadas e valores de R^2 para os teores de K nas porções morfológicas raiz (TKrz), caule (TKca), folha (TKfo), fruto (TKfr) e muda (TKmu) do abacaxizeiro ‘Pérola’, em função das doses de N e K aplicadas.

Variável	Equação	R^2
TKrz	$\hat{y} = 0,2609 - 0,0057^{ns}K + 0,0003^*K^2$	0,19
TKca	$\hat{y} = 0,6383 + 0,0084^*N$	0,77
	$\hat{y} = 0,5104 + 0,0433^{ns}K - 0,0017^*K^2$	0,90
TKfo	$\hat{y} = 1,2262 + 0,0777^{***}K - 0,0024^{**}K^2$	0,70
TKfr	$\hat{y} = 0,1509 - 0,0016^{ns}N + 7E - 05^*N^2$	0,31
	$\hat{y} = 0,1262 + 0,0026^*K - 9E-05^0K^2$	0,79
TKmu	$\hat{y} = \bar{y} = 1,66$	-

***, **, *,^o e ^{ns} significativo a 0,1; 1,0; 5,0; 10,0 e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

A elevação das doses de N aumentou os TKfr de forma quadrática e os TKca de forma linear, com doses máximas estimadas de 16,0 e 22,8 g planta⁻¹ de N e teores máximos estimados de 0,12 e 0,83 dag kg⁻¹ de K, respectivamente. Tais resultados corroboram as informações da literatura sobre a interação do tipo não competitiva entre esses dois nutrientes, pois o suprimento adequado de N e K frequentemente potencializa a resposta a ambos (CANTARELLA, 2007). Ademais, o K atua como cofator ou ativador de muitas enzimas do metabolismo de carboidratos e proteínas (TAIZ; ZEIGER, 2009). Rodrigues et al. (2013) também reportaram incrementos nos teores foliares de K do abacaxizeiro ‘Pérola’ em função da elevação das doses de N.

Os TKrz, TKca, TKfo e TKfr aumentaram de forma quadrática com as doses de K, registrando-se teores máximos de 0,23; 0,79; 1,85 e 0,14 dag kg⁻¹ estimados com as doses de 9,5; 12,7; 16,2 e 14,4 g planta⁻¹ de K₂O. Tais resultados corroboram àqueles obtidos por diversos autores (SPIRONELLO et al., 2004; GUARÇONI & VENTURA, 2011; TEIXEIRA et al., 2011ab), podendo ser justificados pelo fato de o K ser o nutriente requerido em maior quantidade pelo abacaxizeiro; além disso, o K é responsável pelo carregamento da sacarose no floema e, assim, pelo transporte dos fotoassimilados da fonte para o dreno, razão pela qual sua falta resulta em redução no crescimento, produção e comprometimento da qualidade (MAIA et al., 2019).

Tabela 8. Teor de K nas porções morfológicas raiz (Rz), caule (Ca), folha (Fo), fruto (Fru) e muda (Mu) do abacaxizeiro ‘Pérola’, em função de doses de N e K aplicadas.

Dose				Teor de K				
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Rz	Ca	Fo	Mu	Fru
-----g planta ⁻¹ -----				-----dag kg ⁻¹ -----				
7,2	2,8	7,2	2,8	0,15	0,77	2,40	1,88	0,13
7,2	2,8	16	6,7	0,16	0,78	2,18	1,98	0,14
7,2	2,8	7,2	2,8	0,17	0,79	2,14	1,73	0,16
7,2	2,8	16	6,7	0,16	0,74	2,01	2,13	0,15
7,2	6,7	7,2	2,8	0,16	0,77	1,85	1,76	0,14
7,2	6,7	16	6,7	0,17	0,64	2,03	1,84	0,13
7,2	6,7	7,2	2,8	0,15	0,58	2,23	1,70	0,15
7,2	6,7	16	6,7	0,24	0,84	1,89	1,55	0,15
16	2,8	7,2	2,8	0,14	0,45	1,53	1,45	0,13
16	2,8	7,2	6,7	0,13	0,68	1,73	1,69	0,12
16	2,8	16	2,8	0,14	0,61	2,34	2,19	0,13
16	2,8	16	6,7	0,39	0,76	1,72	1,45	0,14
16	6,7	7,2	2,8	0,15	0,69	1,58	1,95	0,14
16	6,7	7,2	6,7	0,30	0,81	1,42	1,22	0,13
16	6,7	16	2,8	0,16	0,83	1,93	1,45	0,15
16	6,7	16	6,7	0,38	0,70	1,58	1,33	0,14
1,2	2,8	7,2	2,8	0,26	0,64	1,85	1,43	0,16
22,8	6,7	16	6,7	0,26	0,81	1,67	1,65	0,15
7,2	0,48	7,2	2,8	0,34	0,63	1,72	1,58	0,12
16	9,1	16	6,7	0,17	1,41	1,74	0,90	0,14
7,2	2,8	1,2	2,8	0,27	0,57	1,26	1,47	0,12
16	6,7	22,8	6,7	0,28	0,61	1,77	1,64	0,14
7,2	2,8	7,2	0,48	0,17	0,72	1,86	2,08	0,13
16	6,7	16	9,1	0,15	0,75	2,15	1,99	0,15
12	4,8	12	4,8	0,29	0,80	1,61	1,57	0,15
1,2	0,48	1,2	0,48	0,26	0,59	1,27	1,51	0,14

Vale destacar que os teores de K das diversas partes morfológicas obtidos nesse trabalho foram inferiores aos teores de 0,39; 2,01; 2,48; 2,66 e 0,28 dag kg⁻¹ reportados por Silva (2006)

para a raiz, caule, folha, muda e fruto do abacaxizeiro ‘Pérola’, respectivamente, submetido à adubação NPKS, em Argissolo Amarelo do município de Sapé, Paraíba. Vale ressaltar, entretanto, que diferentemente do trabalho de Silva (2006), no qual as amostras de tecido vegetal foram coletadas na época de indução floral, no presente trabalho a amostragem foi realizada após a colheita dos frutos, ou seja, após a translocação dos fotoassimilados acumulados em folhas e caule para os órgãos reprodutivos (fruto e mudas) (SOUZA; REINHARDT, 2004).

4.3 Acúmulos

4.3.1 Acúmulo de N

Os acúmulos de N na raiz (AcNr_z) diminuíram, enquanto que os acúmulos de N na folha (AcNf_o), fruto (AcNf_r), muda (AcNm_u) e total (AcNt_o) aumentaram linearmente com a elevação das doses de N. Por outro lado, a elevação das doses de K aumentou linearmente os AcN_{ca}, AcNf_o e AcNt_o, mas não influenciou os valores de AcNr_z, AcNf_r e AcNm_u (Tabela 9).

Tabela 9. Equações de regressão ajustadas e valores de R² para os acúmulos de N nas partes morfológicas raiz (AcNr_z), caule (AcNca), folha (AcNf_o), muda (AcNm_u), fruto (AcNf_r) e total (AcNt_o) do abacaxizeiro ‘Pérola’, em função das doses de N e K aplicada.

Variável	Equação	R ²
AcNr _z	$\hat{y} = 265,34 - 3,7331^{**}N$	0,81
AcNca	$\hat{y} = 515,25 + 12,24^{\circ}K$ $\hat{y} = 2362,7 + 68,872^{**}N$	0,90 0,94
AcNf _o	$\hat{y} = 2162,6 + 88,785^{*}K$	0,97
AcNf _r	$\hat{y} = 829,59 + 9,3061^{**}N$	0,83
AcNm _u	$\hat{y} = 748,96 + 27,238^{***}N$ $\hat{y} = 4814,6 + 103,36^{***}N$	0,69 0,97
AcNt _o	$\hat{y} = 4603,4 + 130,86^{*}K$	0,99

***, **, *, ° e ^{ns} significativo a 0,1; 1,0; 5,0; 10,0 e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

Os acúmulos máximos de N nas partes morfológicas folha, muda, fruto e total foram obtidos com a dose 22,8 g planta⁻¹ de N, representando incrementos percentuais de 41,0; 46,0; 21,5 e 32,5% em relação aos obtidos com a dose de 1,2 g planta⁻¹ de N, respectivamente. Por outro lado, o AcNr_z máximo (260,9 mg planta⁻¹) foi obtido com a dose de 1,2 g planta⁻¹ de N (Tabela 9).

Os incrementos nos acúmulos de N nestas partes morfológicas com o aumento das doses de N se devem aos efeitos positivos promovidos pelas mesmas nos teores foliares e valores de MS_{mu}, MS_{fr} e MS_{to}, respectivamente (Tabelas 3,4,5 e 6). O N é um dos principais componentes do sistema fotossintético, participando de compostos como clorofila, carboxilase/oxidase da ribulose 1,5 bifosfato (RubisCO) e carboxilase do fosfoenolpiruvato (PEPcase); além disso, é componente de vitaminas, sistemas energéticos e aminoácidos que formam as proteínas (MAIA et al., 2019). Ademais, na fase reprodutiva o N aumenta a translocação dos metabólitos acumulados no caule e nas folhas para o fruto e as mudas (SOUZA; REINHARDT, 2004).

O efeito negativo das doses de N no AcNr_z pode estar provavelmente associado a diminuição da MS_{rz} com a elevação das doses de N. Em geral, as raízes do abacaxizeiro apresentam menores taxas de acúmulo de N, devido a passagem direta de nitrato da raiz para o caule, e, adicionalmente, devido a baixa taxa de assimilação de nitrato; adicionalmente, o amônio assimilado pelas raízes é translocado para os tecidos clorofilados, onde são rapidamente convertidos em compostos orgânicos mais solúveis (aminoácidos e asparagina) e, em seguida, transformados em proteínas (LINHARES, 2016).

A maximização dos AcN_{ca} (832,0 mg planta⁻¹), AcN_{fo} (4316 mg planta⁻¹) e AcN_{total} (7671 mg planta⁻¹) foi obtida com a maior dose de K (22,8 g planta⁻¹), representando incrementos de 33,2; 47,0 e 37,7% em relação aos acúmulos obtidos com a menor dose de K (1,2 g planta⁻¹). Tais resultados se devem ao fato do metabolismo de N nas plantas demandar quantidades adequadas de K no citoplasma na fase de acúmulo e incorporação do N nos tecidos foliares, sendo o mesmo importante para a produção de aminoácidos e produtividade das culturas (MARSCHNER, 2012). Rodrigues (2016) também reportou elevação do acúmulo foliar de N com o aumento das doses de K, fato atribuído a participação do K nos processos de síntese proteica, ativação enzimática e atividade fotossintética.

Tabela 10. Acúmulo de N nas partes morfológicas raiz (Rz), caule (Ca), folha (Fo), fruto (Fru), muda (Mu) e total do abacaxizeiro ‘Pérola’, em função de doses de N e K aplicadas.

Dose				Acúmulo de N					
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Rz	Ca	Fo	Mu	Fru	Total
-----g planta ⁻¹ -----				-----mg planta ⁻¹ -----					
7,2	2,8	7,2	2,8	185,0	260,0	2376,6	1236,6	849,2	4907,3
7,2	2,8	16	6,7	197,2	473,0	3567,6	1056,1	869,2	6163,0
7,2	2,8	7,2	2,8	169,3	443,0	3146,6	655,6	946,5	5361,1
7,2	2,8	16	6,7	262,0	529,4	2498,3	1169,2	993,0	5451,9
7,2	6,7	7,2	2,8	179,2	592,5	3242,2	588,6	978,0	5580,5
7,2	6,7	16	6,7	318,4	494,9	3495,7	1096,0	911,9	6317,0
7,2	6,7	7,2	2,8	168,3	557,5	2726,3	510,4	926,6	4889,1
7,2	6,7	16	6,7	315,4	858,5	4058,1	1105,1	961,3	7298,4
16	2,8	7,2	2,8	161,7	586,2	3550,1	549,4	877,04	5724,4
16	2,8	7,2	6,7	170,4	736,3	2610,4	1163,4	956,7	5637,1
16	2,8	16	2,8	100,2	603,6	2389,1	990,6	939,3	5022,8
16	2,8	16	6,7	242,4	815,5	4511,9	1319,6	831,6	7721,0
16	6,7	7,2	2,8	145,9	759,0	2889,1	1344,2	936,8	6074,9
16	6,7	7,2	6,7	242,7	741,3	2842,5	1497,6	1069,5	6393,7
16	6,7	16	2,8	195,3	720,3	2946,3	1238,4	1087,9	6188,2
16	6,7	16	6,7	266,0	755,6	3872,1	1103,3	1008,6	7005,6
1,2	2,8	7,2	2,8	291,1	716,3	2863,2	648,9	766,1	5285,6
22,8	6,7	16	6,7	192,1	590,5	4028,5	1221,9	1021,9	7054,8
7,2	0,48	7,2	2,8	206,6	648,8	3248,0	1104,0	874,3	6081,8
16	9,1	16	6,7	142,5	796,4	3288,6	1486,6	935,1	6649,2
7,2	2,8	1,2	2,8	244,8	575,2	2659,8	923,4	912,8	5316,0
16	6,7	22,8	6,7	253,8	832,3	4315,9	1338,9	929,7	7670,6
7,2	2,8	7,2	0,48	175,4	445,7	2735,7	738,1	973,4	5068,3
16	6,7	16	9,1	210,7	642,4	3201,1	1664,8	1037,2	6756,3
12	4,8	12	4,8	223,1	661,2	3092,8	1300,0	983,3	6260,6
1,2	0,48	1,2	0,48	261,9	536,4	1917,6	680,1	838,3	4234,3

4.3.2 Acúmulo de K

As doses de N influenciaram os AcKrz, AcKmu e AcKto, enquanto que as doses de K influenciaram os AcKca, AcKfo e AcKto. Por outro lado, os dados de AcKfr não se ajustaram aos modelos de regressão testados, estimando-se acúmulo médio de 709,7 mg planta⁻¹ para essa variável (Tabela 11).

Tabela 11. Equações de regressão ajustadas e valores de R² para os acúmulos de K nas partes morfológicas raiz (AcKrz), caule (AcKca), folha (AcKfo), fruto (AcKfr), muda (AcKmu) e total (AcKto) do abacaxizeiro ‘Pérola’, em função das doses de N e K aplicadas.

Variável	Equação	R ²
AcKrz	$\hat{y} = 153,05 - 1,9031^*N$	0,21
AcKca	$\hat{y} = 444,39 + 73,713^*K - 2,4879^*K^2$	0,83
AcKfo	$\hat{y} = 3546,9 + 123,47^*K$	0,80
AcKfr	$\hat{y} = \bar{y} = 709,66$	-
AcKmu	$\hat{y} = 1531,1 + 47,215^{**}N$	0,76
AcKto	$\hat{y} = 7711,6 + 88,156^*N$ $\hat{y} = 4962,4 + 579,73^{**}K - 16,716^*K^2$	0,53 0,99

***, **, *, ° e ns significativo a 0,1; 1,0; 5,0; 10,0 e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

Os AcKmu e AcKto aumentaram de forma linear com as doses de N, com incrementos percentuais de 44,1 e 24,7%, respectivamente, em relação ao valor obtido com a menor dose de N. Por outro lado, as doses de N reduziram linearmente o AcKrz, estimando-se redução percentual de 37,0% em relação ao acúmulo encontrado para a menor dose de N (1,2 g planta⁻¹). Em relação às doses de K, observaram-se aumentos lineares para AcKfo e de forma quadrática para os AcKca e AcKtot, com maximização dos valores com as doses 22,8; 14,8 e 17,3 g planta⁻¹ de K₂O, respectivamente (Tabelas 11 e 12).

O efeito positivo das doses de N no AcKmu se deveu principalmente à ação do N na elevação dos valores de matéria seca dessa parte morfológica, pois o TKmu não foi influenciado pelas doses de N (Tabela 7). Por outro lado, o aumento do AcKto se deveu ao efeito positivo desse nutriente sobre os valores de MSmu e MSfr e TKca e TKfo. Conforme mencionado anteriormente, a disponibilidade do N e K e a adequada proporção entre eles no solo são fatores

importantes nos processos de crescimento e desenvolvimento das plantas, existindo relação sinérgica entre os mesmos (MARSCHNER, 2012).

O efeito negativo das doses de N no AcKrz corrobora os relatos existentes na literatura de que a adubação nitrogenada, por um efeito competitivo do íon amônio, pode interferir de forma negativa no acúmulo de K nas plantas (MALAVOLTA, 2006). Contudo, Viana & Khriel (2010) relataram efeito positivo de doses de N e K na produção de massa de matéria seca e no teor de clorofila em plantas de trigo e que o K não influenciou a atividade de redutase do nitrato e o acúmulo de N no tecido vegetal, indicando que os efeitos de N e K são sinérgicos.

O aumento dos AcKca, AcKfo e AcKto com a elevação das doses de K pode ser justificado pela participação do K na translocação dos carboidratos sintetizados no processo fotossintético, na síntese protéica e na ativação enzimática; ademais, o K acumula-se em maior quantidade nas raízes, caules e folhas, aparecendo em teores relativamente baixos nos órgãos reprodutivos (MARSCHNER, 2012). Resultados semelhantes foram relatados por diversos autores em trabalhos realizados com diversas cultivares de abacaxizeiro (SPIRONELLO et al., 2004; GUARÇONI & VENTURA, 2011; TEIXEIRA et al., 2011ab; RODRIGUES et al., 2013).

Os resultados obtidos demonstram um comportamento peculiar dos processos de absorção, acumulação e partição de nutrientes e matéria seca pelas diferentes partes morfológicas do abacaxizeiro, quando submetido a doses crescentes de N e K. De forma geral, N e K atuam de forma independente nos referidos processos e influenciam de forma diferenciada os valores de matéria seca, teores e acúmulo de N e K nas estruturas vegetativas e reprodutivas do abacaxizeiro, o que se refletirá, provavelmente, em diferenças na eficiência nutricional da cultura.

Tabela 12. Acúmulo de K nas porções morfológicas raiz (Rz), caule (Ca), folha (Fo), fruto (Fru), muda (Mu) e total do abacaxizeiro ‘Pérola’, em função de doses de N e K aplicadas.

Dose				Acúmulo de K					
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Rz	Ca	Fo	Mu	Fru	Total
-----g planta ⁻¹ -----				-----mg planta ⁻¹ -----					
7,2	2,8	7,2	2,8	69,7	549,2	4240,4	2549,1	1948,7	9357,1
7,2	2,8	16	6,7	81,1	949,8	7773,4	2743,7	266,3	11814,3
7,2	2,8	7,2	2,8	74,9	601,2	4452,4	1583,6	1649,8	8361,9
7,2	2,8	16	6,7	109,5	983,	3230,0	2729,5	1626,2	8678,8
7,2	6,7	7,2	2,8	77,7	716,0	4055,4	1567,1	1783,0	8199,3
7,2	6,7	16	6,7	132,2	624,4	6019,3	2602,0	1568,3	10946,3
7,2	6,7	7,2	2,8	69,5	537,6	4688,2	1159,1	1518,7	7973,2
7,2	6,7	16	6,7	143,7	1362,0	7800,0	2293,1	321,5	11920,4
16	2,8	7,2	2,8	52,4	501,4	3843,3	853,2	959,1	6209,4
16	2,8	7,2	6,7	68,8	1028,5	4289,4	3042,1	245,4	8674,3
16	2,8	16	2,8	41,9	452,1	3297,5	2209,8	1557,2	7558,4
16	2,8	16	6,7	176,2	980,	6278,7	2149,8	270,9	9856,4
16	6,7	7,2	2,8	59,9	687,05	2691,3	3048,9	1002,6	7489,8
16	6,7	7,2	6,7	153,4	891,5	4200,5	2446,9	295,1	7987,4
16	6,7	16	2,8	82,2	1015,5	6090,4	2556,3	321,6	10065,9
16	6,7	16	6,7	216,2	889,3	5750,6	1867,3	303,2	9026,7
1,2	2,8	7,2	2,8	180,1	864,5	6005,1	1325,0	281,4	8656,3
22,8	6,7	16	6,7	112,0	868,5	5552,1	2398,1	320,2	9250,9
7,2	0,48	7,2	2,8	147,4	785,1	5533,4	2064,2	220,0	8750,2
16	9,1	16	6,7	61,9	1948,7	6520,2	1801,7	301,2	10633,8
7,2	2,8	1,2	2,8	156,2	553,1	3532,4	1601,2	239,6	6082,6
16	6,7	22,8	6,7	128,1	811,9	5774,6	2413,7	278,2	9406,6
7,2	2,8	7,2	0,48	80,7	724,6	5748,6	2251,6	269,2	9074,6
16	6,7	16	9,1	82,9	949,6	7267,9	4688,9	331,3	13320,6
12	4,8	12	4,8	173,3	1061,1	5552,8	2147,2	318,3	9252,7
1,2	0,48	1,2	0,48	142,4	591,9	2931,6	1354,2	253,9	5274,0

4.4 Eficiência Nutricional

4.4.1 Eficiências de N

As doses de N e K influenciaram de forma isolada os valores das diversas eficiências de N estudadas, ou seja, a interação N x K foi não significativa ($p > 0,10$). Assim, a elevação das doses de N aumentou os valores das eficiências de translocação (EFtraN) e absorção (EFabsN), mas diminuiu os de utilização (EFutzN), conversão (EFcovN) e recuperação (EFrecN). Por outro lado, os valores de EFtraN e EFabsN aumentaram com a elevação das doses de K, não havendo efeito sobre as demais eficiências (Tabela 13).

Tabela 13. Equações de regressão ajustadas e valores de R^2 para as eficiências de utilização (EFutzN), conversão (EFconN), translocação (EFtraN), absorção (EFabsN) e recuperação (EFrecN) de N pelo abacaxizeiro ‘Pérola’, em função de doses de N e K aplicadas.

Variável	Equação	R^2
EFutzN	$\hat{y} = 158,21 - 1,6086^{**}N$	0,91
EFconN	$\hat{y} = 167,15 - 1,8838^{**}N$	0,95
EFtraN	$\hat{y} = 0,9377 + 0,0034^{***}N - 9E-05^{**}N^2$	0,90
	$\hat{y} = 0,9449 + 0,0023^{ns}K - 6E-05^{*}K^2$	0,77
EFabsN	$\hat{y} = 0,077 + 0,0038^{***}N$	0,92
	$\hat{y} = 0,0877 + 0,0021^{***}K - 6E-05^{*}K^2$	0,89
EFrecN	$\hat{y} = 0,9424 - 0,1057^{*}N + 0,0031^{*}N^2$	0,92

***, **, *, ° e ns significativo a 0,1; 1,0; 5,0; 10,0 e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

A EFabsN aumentou em 50% com a elevação das doses de 1,2 para 22,8 g planta⁻¹ de N e foi maximizada com a dose de 7,5 g planta⁻¹ de K₂O. Os valores máximos de EFutzN e EFconN foram obtidos com a menor dose de N (1,2 g planta⁻¹), enquanto que o valor máximo de EFtraN foi obtido com as doses de 18,9 e 19,2 g planta⁻¹ de N e K₂O, respectivamente. Por outro lado, a EFrecN máxima (82%) foi estimada com a dose de 1,2 g planta⁻¹ de N (Tabela 13).

Tabela 14. Eficiências de utilização (EFutzN), conversão (EFconN), translocação (EFtraN) e absorção (EFabsN) de N pelo abacaxizeiro ‘Pérola’, em função de doses de N e K aplicadas.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	EFutzN	EFconN	EFtraN	EFabsN
-----g planta ⁻¹ -----				-----g g ⁻¹ -----			g g ⁻¹
7,2	2,8	7,2	2,8	158,4	164,6	0,96	0,11
7,2	2,8	16	6,7	140,4	145,3	0,97	0,13
7,2	2,8	7,2	2,8	143,6	148,3	0,97	0,12
7,2	2,8	16	6,7	145,6	153,2	0,95	0,08
7,2	6,7	7,2	2,8	148,6	153,4	0,97	0,12
7,2	6,7	16	6,7	158,9	167,4	0,95	0,08
7,2	6,7	7,2	2,8	156,8	162,3	0,97	0,11
7,2	6,7	16	6,7	137,9	144,5	0,96	0,13
16	2,8	7,2	2,8	140,2	144,3	0,97	0,16
16	2,8	7,2	6,7	150,4	155,2	0,97	0,11
16	2,8	16	2,8	140,9	143,9	0,98	0,17
16	2,8	16	6,7	116,6	120,4	0,97	0,16
16	6,7	7,2	2,8	141,6	145,1	0,98	0,15
16	6,7	7,2	6,7	135,1	140,5	0,96	0,14
16	6,7	16	2,8	142,9	147,5	0,97	0,13
16	6,7	16	6,7	128,2	133,4	0,96	0,14
1,2	2,8	7,2	2,8	149,9	158,7	0,94	0,08
22,8	6,7	16	6,7	116,7	119,9	0,97	0,16
7,2	0,48	7,2	2,8	134,0	138,9	0,97	0,14
16	9,1	16	6,7	147,1	150,4	0,98	0,18
7,2	2,8	1,2	2,8	140,6	147,4	0,95	0,09
16	6,7	22,8	6,7	134,8	139,8	0,97	0,17
7,2	2,8	7,2	0,48	151,7	157,1	0,97	0,10
16	6,7	16	9,1	144,8	149,5	0,97	0,13
12	4,8	12	4,8	140,2	145,5	0,96	0,11
1,2	0,48	1,2	0,48	157,2	167,4	0,94	0,08

A redução dos valores de EFutzN e EFconN com a elevação as doses de N indica que houve redução na massa de matéria seca produzida pelo abacaxizeiro por unidade de N acumulado na planta inteira e na parte aérea, respectivamente (FAGERIA et al., 2008).

Em geral, as eficiências EFutzN e EFconN diminuem com a elevação das doses de N, devido ao suprimento exceder as necessidades da cultura, resultando em menor aproveitamento pelas plantas (FAGERIA, 2008). Isto se deve a dinâmica complexa do N no sistema solo-planta-atmosfera, o qual pode ser perdido para o ambiente por diferentes processos (volatilização, desnitrificação, imobilização e lixiviação) (CANTARELLA, 2007).

Segundo Amaral et al. (2011), a EFutzN depende de fatores edafoclimáticos, fonte e dose de N, além do potencial de resposta da planta; ademais, o equilíbrio nutricional no solo favorece a eficiência de utilização, pois favorece boas condições para o seu desenvolvimento.

O aumento da EFabN com a elevação das doses de N indica que houve aumento na taxa de absorção de N por unidade de massa radicular. Em geral, as espécies diferem quanto aos mecanismos desenvolvidos para aumentar a eficiência de absorção, destacando-se entre eles o aumento do sistema radicular ou a taxa de absorção por unidade de comprimento radicular, ou seja, a taxa de influxo de nutrientes (TOMAZ et al., 2003).

A EFtraN também aumentou com a elevação das doses de N, indicando que as mesmas contribuíram para elevar a capacidade das plantas em transportar o nutriente da raiz para a parte aérea. No presente trabalho, observou-se que, em média, 96% do N acumulado nas raízes foi transportado para a parte aérea, o que pode ser explicado pela alta mobilidade do nutriente no floema e da maior concentração de compostos nitrogenados (aminoácidos e proteínas) na parte aérea em detrimento das raízes (FAGERIA, 2008; MARSCHNER, 2012).

A EFrecN pelo abacaxizeiro diminuiu com o aumento das doses de N, indicando menor aproveitamento pela planta do N aplicado via fertilizante nas maiores doses, devido a incapacidade da planta absorver toda a quantidade de nutriente aplicado ao solo via fertilizante (SILVA, 2006). Pela equação de regressão ajustada observa-se que a máxima EFrecN (0,82 kg kg⁻¹) foi obtida na dose 1,2 g planta⁻¹ de N, enquanto que a mínima (0,15 kg kg⁻¹) foi registrada na maior dose de N (22,8 g planta⁻¹), sendo a EFrecN média de 0,19 kg kg⁻¹.

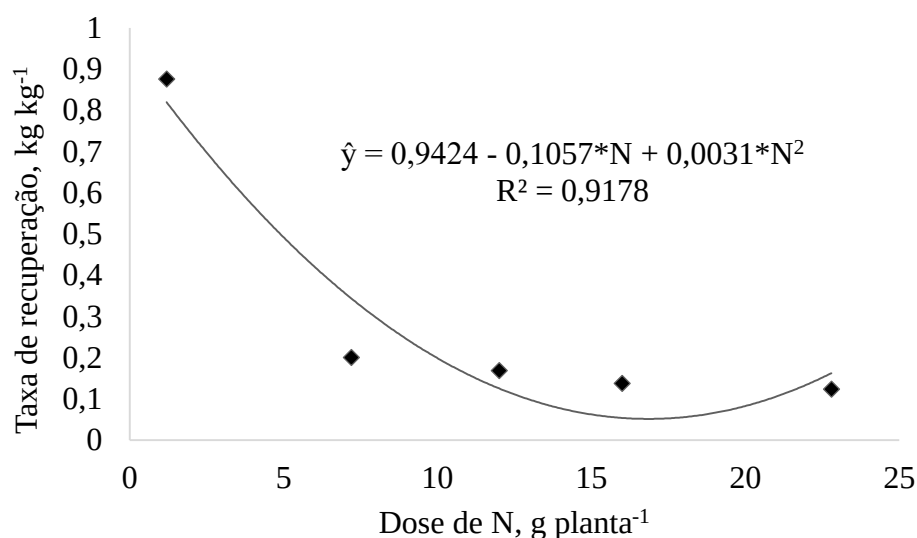


Figura 1. Eficiência de recuperação de N (kg kg⁻¹) pelo abacaxizeiro ‘Pérola’, em função das doses de N aplicadas.

Comparativamente, ao avaliarem a eficiência de recuperação de N (22,8 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia e parcelado em cinco aplicações) pelo abacaxizeiro ‘Red Spanish’ em solos da planície do rio Orinoco, Venezuela, San Jose et al. (2007) obtiveram uma eficiência de 0,48 kg kg⁻¹, ou seja, 48,0%. Em Argissolo Amarelo de Sapé, Estado da Paraíba, Silva (2006) observou ampla variação nos valores de EFrecN pelo abacaxizeiro ‘Pérola’ (0,20-0,72 kg kg⁻¹) adubado com doses entre 25 e 475 kg ha⁻¹ de N, aplicadas na forma de ureia e parceladas em três aplicações, estimando-se valor médio de 41,0%.

Os menores valores de EFrecN encontrados neste trabalho em relação aos reportados na literatura se devem as diferenças nos fatores tipo de solo, dose e número de aplicações. Assim, a aplicação de doses elevadas de N, parceladas em quatro aplicações em solos de textura franco arenosa, potencializou as perdas de N e diminuiu a recuperação de N pelas plantas.

Conforme Amado et al. (2013), a diminuição da EFrecN se deve a grande mobilidade e ao elevado dinamismo do N, o qual está sujeito a diversos tipos de perdas no sistema solo-planta-atmosfera (lixiviação, imobilização, volatilização e competição com o solo), demonstrando a necessidade de se manejar adequadamente os fatores fonte, dose, forma e épocas de aplicação dos fertilizantes, visando aumentar a eficiência de recuperação de N pela planta (SILVA et al., 2012).

4.4.2 Eficiências de K

As doses de N e K também influenciaram de forma isolada os valores das eficiências de K estudadas, ou seja, a interação $N \times K$ foi não significativa ($p > 0,10$). As doses de N influenciaram apenas os valores das eficiências de translocação (EFtraK) e de absorção (EFabsK), enquanto que as doses de K influenciaram os valores de todas as eficiências avaliadas (Tabela 15).

Tabela 15. Equações de regressão ajustadas e valores de R^2 para as eficiências de utilização (EFutzK), conversão (EFconK), translocação (EFtraK), absorção (EFabsK) e recuperação (EFrecK) de K pelo abacaxizeiro 'Pérola', em função de doses de N e K aplicadas.

Variável	Equação	R^2
EFutzK	$\hat{y} = 132,56 - 5,5914^*K + 0,1964^*K^2$	0,97
EFconK	$\hat{y} = 136,12 - 5,9001^*K + 0,2062^{**}K^2$	0,98
EFtraK	$\hat{y} = 0,977 + 0,0006^{***}N$	0,60
	$\hat{y} = 0,97 + 0,0018^*K - 4E-05^*K^2$	0,71
EFabsK	$\hat{y} = 0,1127 + 0,0052^{**}N$	0,80
	$\hat{y} = 0,1227 + 0,0044^{***}K$	0,75
EFrecK	$\hat{y} = 0,8441 - 0,0475^*K + 0,0009^*K^2$	0,96

***, **, *, ° e ns significativo a 0,1; 1,0; 5,0; 10,0 e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

Os valores de EFtraK e de EFabsK aumentaram linearmente em função das doses de N, estimando-se valores máximos de 0,99 e 0,13 mg mg⁻¹ com a dose de 22,8 g planta⁻¹ de N. Por outro lado, os valores de EFutzK, EFconK e EFrecK se ajustaram ao modelo de regressão quadrático negativo, os de EFtraK ao modelo quadrático positivo e os de EFabsK ao modelo de regressão linear positivo. Em razão disso, estimaram-se valores máximos de 219,7 g g⁻¹; 225,3 g g⁻¹; 0,79 kg kg⁻¹ para as EFutzK, EFconK e EFrecK, respectivamente, com a dose de 1,2 g planta⁻¹ de K₂O; e de 0,99 mg mg⁻¹ e 0,23 mg mg⁻¹ para as EFtraK e EFabsK com as doses de 22,5 e 22,8 g planta⁻¹ de K₂O, respectivamente (Tabela 15).

Tabela 16. Eficiências de utilização (EFutz), conversão (EFcon), translocação (EFtra) e absorção (EFabs) de K pelo abacaxizeiro 'Pérola', em função de doses de N e K aplicados.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	EFutzK	EFconK	EFtraK	EFabsK
-----g planta ⁻¹ -----				-----g g ⁻¹ -----		-----mg mg ⁻¹ -----	
--							
7,2	2,8	7,2	2,8	85,6	86,3	0,99	0,21
7,2	2,8	16	6,7	73,7	74,2	0,99	0,25
7,2	2,8	7,2	2,8	97,6	98,5	0,99	0,19
7,2	2,8	16	6,7	93,6	95,0	0,99	0,14
7,2	6,7	7,2	2,8	103,6	104,8	0,99	0,19
7,2	6,7	16	6,7	103,4	105,1	0,99	0,15
7,2	6,7	7,2	2,8	104,4	105,4	0,99	0,17
7,2	6,7	16	6,7	84,7	85,7	0,99	0,20
16	2,8	7,2	2,8	149,0	150,9	0,99	0,17
16	2,8	7,2	6,7	100,2	101,0	0,99	0,17
16	2,8	16	2,8	100,3	100,8	0,99	0,26
16	2,8	16	6,7	90,9	92,6	0,98	0,21
16	6,7	7,2	2,8	124,7	126,0	0,99	0,19
16	6,7	7,2	6,7	113,7	115,6	0,98	0,17
16	6,7	16	2,8	88,1	88,8	0,99	0,20
16	6,7	16	6,7	99,9	102,0	0,98	0,18
1,2	2,8	7,2	2,8	93,4	95,5	0,98	0,13
22,8	6,7	16	6,7	91,8	92,9	0,99	0,21
7,2	0,48	7,2	2,8	95,3	97,0	0,98	0,20
16	9,1	16	6,7	90,9	91,4	0,99	0,29
7,2	2,8	1,2	2,8	123,1	126,3	0,97	0,11
16	6,7	22,8	6,7	108,3	109,8	0,99	0,22
7,2	2,8	7,2	0,48	84,8	85,5	0,99	0,19
16	6,7	16	9,1	73,3	73,8	0,99	0,25
12	4,8	12	4,8	94,8	96,5	0,98	0,16
1,2	0,48	1,2	0,48	127,0	130,4	0,97	0,09

A elevação dos valores de EF_{absK} e EF_{traK} com a elevação das doses de N e K indicam que estes nutrientes atuaram de forma positiva no aumento da taxa de absorção de K por unidade de massa radicular e no transporte de K da raiz para a parte aérea. E que cada grama de matéria seca de raiz conseguiu acumular, em média, 130 mg de K, dos quais 127,4 mg, ou seja 98%, foi transportado para a parte aérea, corroborando a tese de que o suprimento adequado de K às raízes facilita o aumento da concentração de K nos demais órgãos, embora o suprimento abundante de K possa promover o ‘consumo de luxo’ (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012).

A redução nos valores de EF_{utzK} e EF_{conK} com a elevação das doses de K corrobora os resultados obtidos por diversos autores (FAGERIA et al., 2010; NIU et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2019). Tais resultados indicam redução nas quantidades de massa de matéria seca produzida pelo abacaxizeiro por unidade de K acumulado na planta inteira e na parte aérea, respectivamente. Neste trabalho, em média, as plantas conseguiram transformar cada quilograma de K acumulado na planta inteira e na parte aérea em 99,8 e 101,2 kg de matéria seca, respectivamente.

Em geral, as eficiências EF_{utzK} e EF_{conK} diminuem com a elevação das doses de K, devido ao fato de o suprimento exceder as necessidades da cultura, resultando em menor aproveitamento do nutriente pelas plantas (FAGERIA, 2008). Embora a dinâmica do K adicionado pelos fertilizantes aos solos seja bastante simples, as perdas de K por lixiviação podem ser elevadas, principalmente em solos de textura arenosa, com baixa CTC e em áreas com alta precipitação pluvial (ERNANI et al., 2007).

A EF_{recK} diminuiu com o aumento das doses de K, indicando menor aproveitamento pela planta do K aplicado via fertilizante nas maiores doses; isso se deve a incapacidade da planta em absorver toda a quantidade de nutriente aplicado ao solo via fertilizante (SILVA, 2006). Observou-se que a máxima EF_{recK} ($0,79 \text{ kg kg}^{-1}$) foi obtida na dose $1,2 \text{ g planta}^{-1}$ de K_2O , enquanto que a EF_{recK} mínima ($0,27 \text{ kg kg}^{-1}$) foi registrada na dose de $22,8 \text{ g planta}^{-1}$ de K_2O , estimando-se EF_{recK} média de $0,45 \text{ kg kg}^{-1}$ (Figura 2).

Os valores de EF_{recK} , em geral, diminuem com a elevação das doses de K e são bastante variáveis entre culturas e solos. Fageria et al. (2010) reportou eficiência média de 27,4% (4,9-38,5%) para a cultura do arroz. Para a cultura do algodão, Yang et al. (2016) reportou eficiência média de 23,3% (15,0-29,0%), enquanto que para a cultura do milho Niu et al. (2011) registrou variação de 11,9 a 37,9% e eficiência média de 21,0%. Conforme Baligar & Bennett (1986), entretanto, a eficiência de recuperação de K pelas culturas anuais se situa em torno de 40%.

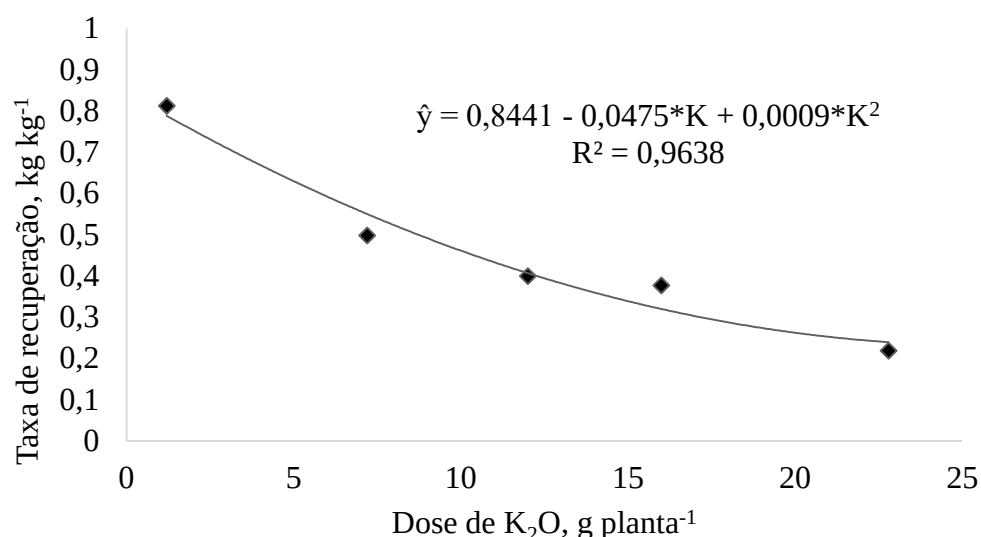


Figura 2. Eficiência de recuperação de K (kg kg⁻¹) pelo abacaxizeiro ‘Pérola’ em função das doses de K aplicadas.

Informações sobre a EFrecK pelo abacaxizeiro ainda são escassas na literatura. Ahmed et al. (2006) ao avaliarem a EFrecK pelo abacaxizeiro ‘Gandul’, em solos turfosos da Malásia, com a dose de 554,8 kg ha⁻¹ de K₂O, aplicada na forma de KCl e parcelada em quatro aplicações, obtiveram eficiência média de apenas 28,0%. Em Argissolo Amarelo do município de Sapé, Estado da Paraíba, Silva (2006) reportou ampla variação nos valores de EFrecK (0,13-0,91 kg kg⁻¹) pelo abacaxizeiro ‘Pérola’ adubado com doses entre 0,72 e 13,0 g planta⁻¹ de K₂O, aplicadas na forma de cloreto de potássio e parceladas em três aplicações, estimando-se eficiência média de 45,0%, a qual coincide com os valores encontrados neste trabalho.

Em síntese, os resultados obtidos neste trabalho indicam que a eficiência de recuperação de N e K pelo abacaxizeiro, sobretudo o N, foi maior quando se aplicaram doses menores desses nutrientes (Figuras 1 e 2). Neste sentido, o manejo adequado dos nutrientes em questão (dose, forma, época e parcelamentos) torna-se indispensável para minimizar as perdas, aumentar a eficiência de recuperação pela planta e assegurar a sustentabilidade social, econômica e ambiental da atividade nessa região.

5 CONCLUSÕES

As doses de N e K influenciam de forma isolada e diferenciada a produção de matéria seca e a nutrição mineral (teores e acúmulos de N e K) das diferentes partes morfológicas do abacaxizeiro, sendo os efeitos das doses de N mais pronunciados na raiz, fruto e mudas e do K no caule e folhas;

As eficiências de absorção e translocação de N e K aumentam de forma sinérgica, enquanto as de utilização e conversão diminuem com a elevação das doses dos respectivos nutrientes;

As eficiências de recuperação de N e K diminuem com o aumento das doses dos respectivos nutrientes, passando de 0,82 para 0,15 kg kg⁻¹ e de 0,79 para 0,27 kg kg⁻¹ com a elevação das doses de 1,2 para 22,8 g planta⁻¹ de N e K₂O, respectivamente; as taxas de recuperação média de N e K pelo abacaxizeiro são de 19,0 e 45,0%, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- AHMED, O. H. et al. Leaching losses of soil applied potassium fertilizer in pineapple (*Ananas comosus*) cultivation on tropical peat soils in Malaysia. **New Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 34, p. 155-161, 2006.
- ALVAREZ V., V.H. et al. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.27-32, 2000.
- ALVAREZ, V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (eds.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 359p., 1999.
- AMADO, T. J. C. et al. Efficiency of nitrogen fertilizer applied at corn sowing in contrasting growing seasons in Paraguay. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1641-1650, 2013.
- AMARAL, J.F.T. et al. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 621-629, 2011.
- BALIGAR, V. C.; BENNETT, O. L. NPK fertilizer efficiency – a situation analyses for the tropics. **Fertilizer Research**, v. 10, p. 147-164, 1986.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisa e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do solo. **I Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro, (Boletim Técnico, 15; SUDENE, Série Pedológica, 8). 638p, 1972.
- CAETANO, L.C.S. et al. Efeito da adubação com nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento, na produção e na qualidade de frutos do abacaxi ‘Vitória’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p.883-890, 2013.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, p. 375-449, 2007.
- CARDOSO, M. M. et al. Crescimento do abacaxizeiro ‘Vitória’ irrigado sob diferentes densidades populacionais, fontes e doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 769-781, 2013.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. A participação do abacaxi no desenvolvimento econômico nas regiões produtoras. Brasília: CONAB (Compêndio de Estudos Conab, v.24). 44p. 2020.
- COUTO, F. A. A. **Desenvolvimento e produção do abacaxizeiro, *Ananas comosus* (L.) Merr. adubado com potássio via folha e solo**. 1991. 61p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1991.
- CPRM – COMPANHIA DE RECURSOS MINERAIS. **Diagnóstico do município de Itapororoca estado da Paraíba**. Recife: CPRM/PRODEEM. 2005. 10p.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, p. 91-132. 2007.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 212p., 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 212 p., 1997.

ERNANI, P. R. et al. Potássio. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, p. 551-594, 2007.

FAGERIA, N. K. **Maximizing crop yields**. New York: Marcel Dekker, 274 p., 1992.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.6-16, 1998.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; MORAES, M. F. Yield, potassium uptake, and use efficiency in upland rice genotypes, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 41, p. 2676-2684, 2010.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; LI, Y.C. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. **Journal of Plant Nutrition**, 31: 1121-1157, 2008.

FARIAS, D.R. et al. Fósforo em solos representativos do estado da Paraíba. II - disponibilidade de fósforo para plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 633-646, 2009.

FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432 p.

GUARÇONI M. A.; VENTURA, J. A. Adubação N-P-K e o desenvolvimento, produtividade e qualidade dos frutos do abacaxi 'Gold' (MD-2). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 1367-1376, 2011.

HEPTON, A. Cultural system. In: BARTHOLOME W, D. P.; PAUL, R. E.; ROHRBACH, K. G., eds. **The Pineapple: Botany, production and uses**. Honolulu, CAB, p.109-142, 2003.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. 2019. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>>. Acesso em: 15 fev. 2020.

LI, B. et al. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.

LINHARES, A. C. M. **Formas de nitrogênio em abacaxizeiro 'Pérola' em resposta à adubação nitrogenada e potássica**. 2016. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) - Universidade Federal de Campina Grande. 2016.

MAIA, V. M. et al. Diagnosis and management of nutrient constraints in pineapple. In: Srivastava, A. K.; Hu, C. (Org.). **Fruit Crops: Diagnosis and Management of Nutrient Constraints**. Amsterdam: Elsevier, p.739-757, 2019.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 638p., 2006.

MALÉZIEUX, E.; BARTHOLOMEW, D. P. Plant nutrition. In: BARTHOLOMEW, D. P.; PAUL, R. E.; ROHRBACH, K. G. (Eds). **The Pineapple: botany, production and uses**. Honolulu: CAB, p.143-165, 2003.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed London: Elsevier, 2012. 643p.

NIU, J. et al. Potassium fertilization on maize under different production practices in the North China Plain. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 822-829. 2011.

- OLIVEIRA, A. M. G. et al. Adubação N-K no abacaxizeiro ‘BRS Imperial’ -II- efeito no solo, na nutrição da planta e na produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, 2015.
- OLIVEIRA, E. F. et al. **Abacaxi**: sistema de cultivo para o tabuleiro paraibano. João Pessoa: EMEPA, 38p., 2002.
- OLIVEIRA, T.F. et al. Productivity and efficiency index of potassic fertilization in cabbage. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 14, p. 1-7, 2019.
- PAULA, M. B. et al. Nutrição e adubação do abacaxizeiro. **Informe Agropecuário**, v. 19, p. 33-39, 1998.
- PEREIRA, J. B. D. **Eficiência nutricional de nitrogênio e de potássio em plantas de café (*Coffea arabica* L.)**. 1999. 99p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, MG. 1999.
- PINHEIRO NETO, L. G. **Crescimento, produção e qualidade do abacaxizeiro fertirrigado com diferentes fontes e doses de nitrogênio e potássio**. 2009. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Arido (UFERSA), Mossoró – RN, 2009.
- PROCHNOW, L. I. et al. Nutrient use efficiency in Brazil. In: ESPINOSA, J.; GARCIA, F. (eds.). **Nutrient use efficiency**. São Jose: IPNI, p. 24-34, 2009.
- RABÊLO, F. H. S. et al. Características agrônômicas e bromatológicas do milho submetidas a adubação com potássio na produção de silagem. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p. 634-643, 2013.
- RODRIGUES, A. A. et al. Desenvolvimento vegetativo de abacaxizeiros ‘Pérola’ e ‘Smooth Cayenne’ no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, p. 126-134, 2010.
- RODRIGUES, A. A. et al. Nutrição mineral e produção de abacaxizeiro cv. Pérola em função das relações K/N. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 625-633, 2013.
- RODRIGUES, J. B. B. **Estado nutricional do abacaxizeiro ‘Pérola’ adubado com NPK e enxofre**. 2016. 43p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia – PB, 2016.
- ROSOLEM, C. A. et al. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.5, p.1507-1515, 2012.
- SAN JOSÉ, J.; MONTES, R.; CABRERA-BISBAL, E. Nitrogen budget in a pineapple crop growing in the Orinoco lowlands. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, p. 423-447, 2007.
- SANTOS, F. C. et al. Modelagem da recomendação de fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1661-1674, 2008.
- SAS. **SAS/STAT 9.3 user's guide**. Cary, North Caroline, USA. 2011. 8621 p.
- SILVA, A. P. et al. Resposta do abacaxizeiro ‘Vitória’ as doses de N em solos de Tabuleiros Costeiros da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.447-456, 2012.
- SILVA, A. P. **Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxizeiro**. 2006. 176f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

- SILVA, A.P. et al. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1269-1280, 2009.
- SILVA, M. G. **Marcha de absorção de macronutrientes pelo abacaxizeiro ‘Pérola’ em solos de Tabuleiros Costeiros paraibanos**. 2016. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.
- SOUZA, L. F. S. Adubação. In: REINHARDT, D. H.; SOUZA, L. F. S.; CABRAL, J. R. S. **Abacaxi. Produção: aspectos técnicos**. Brasília: EMBRAPA, p. 30-34, 2000.
- SOUZA, L. F. S.; REINHARDT, D. H. **A adubação do abacaxizeiro após indução floral**. Cruza das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 3p. (Comunicado técnico, 103).
- SPIRONELLO, A. et al. Pineapple yield and fruit quality affected by NPK fertilization in a tropical soil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n.1, p.55-159, 2004.
- STEVENS, C. J. Nitrogen in the environment. **Science**, v. 363, n. 6427, p. 578-580, 2019.
- SWIADER, J. M., CHYAN, Y., FREIJ, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4 ed., Porto Alegre: Artmed. 2009. 719p.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, planta e outros materiais**. 2 ed., Porto Alegre: UFRGS, 174p., 1995.
- TEIXEIRA, L.A.J. et al. Parcelamento da adubação NPK em abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, p.219-224, 2002.
- TEIXEIRA, L.A.J. et al. Potassium fertilization for pineapple: effects on plant growth and fruit yield. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 618-626, 2011a.
- TEIXEIRA, L. A. J. et al. Potassium fertilization for pineapple: effects on soil chemical properties and plant nutrition. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 627-636, 2011b.
- TOMAZ, M. A. et al. Eficiência de absorção, translocação e uso de cálcio, magnésio e enxofre por mudas enxertadas de *Coffea arabica*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 885-892, 2003.
- VELOSO, C. A. C. et al. Resposta do abacaxizeiro à adição de nitrogênio, potássio e calcário em latossolo amarelo do nordeste paraense. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 396-402, 2001.
- VIANA, E. M.; KIEHL, J. C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, v.69, p. 975-982, 2010
- VIEIRA, D. P. et al. Fluorescência e teores de clorofila em abacaxizeiro ‘Perola’ submetido a diferentes concentrações de sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, p. 360-368, 2010.
- WEIH, M.; ASPLUND, L.; BERGKVIST, G. Assessment of nutrient use in annual and perennial crops: A functional concept for analyzing nitrogen use efficiency. **Plant and Soil**, v. 339, p. 513-520. 2010.
- YANG, J.S. et al. Cotton yield and potassium use efficiency as affected by potassium fertilizer management with stalks returned to field. **Crop Science**, v. 56, p. 740-746, 2016.