

ACÚMULO DE NUTRIENTES E DESTINO DO NITROGÊNIO (^{15}N) APLICADO EM POMAR JOVEM DE LARANJEIRA¹

RODRIGO MARCELLI BOARETTO², DIRCEU MATTOS JUNIOR³, PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN⁴,
TAKASHI MURAOKA⁴, ANTONIO ENEDI BOARETTO⁴

RESUMO – Informações sobre absorção de nutrientes em pomares cítricos são importantes para recomendações do manejo da fertilidade do solo. Contudo, estudos sobre a distribuição dos nutrientes na planta e a validação das doses de nitrogênio (N) recomendadas são escassos na literatura brasileira. O presente trabalho avaliou (i) o acúmulo de nutrientes e a distribuição do N (^{15}N) aplicado em citros e (ii) validou a dose de N recomendada para pomares em início de produção. Em laranjeiras ‘Pêra’ sobre limoeiro ‘Cravo’, com 3 a 4 anos de idade, foram aplicadas doses de 150; 300; 450 e 600 g de N por planta, como sulfato de amônio, divididas em três parcelas, entre a primavera e o verão. Incluiu-se um tratamento-testemunha sem N. No mesmo pomar, em outras três plantas, aplicaram-se 300 g por planta de N-[($^{15}\text{NH}_4$)₂SO₄] enriquecido em ^{15}N , para estudar o destino do N do fertilizante no pomar. Foram avaliadas a produção de frutos e o aproveitamento do ^{15}N pela biomassa da planta. A eficiência do fertilizante, estimada com base na absorção de N pela planta, variou entre 20% e 27% do total aplicado. Os frutos exportaram 35% do N absorvido do fertilizante, e a dose de 400 g de N proporcionou a máxima produção de laranjas.

Termos para Indexação: *Citrus*, isótopo estável, nutrição mineral, distribuição de nutrientes, sulfato de amônio, laranjeira ‘Pêra’.

NUTRIENT ACCUMULATION AND FATE OF NITROGEN (^{15}N) IN YOUNG BEARING ORANGE TREES

ABSTRACT – Information about nutrient absorption of citrus orchards is important to establish guidelines for best soil fertility management. However, studies on the fate of applied N fertilizers and validation of nitrogen (N) dose recommendations are scarce in the literature. The present work evaluated (i) the accumulation of nutrients and the distribution of N (^{15}N) applied to citrus orchard and (ii) validated the N fertilization rate applied to young bearing orange trees. Three- to four-year-old Pêra sweet orange trees grafted on Rangpur lime were fertilized with 150, 300, 450, and 600 g of N per tree, as ammonium sulfate, split in three applications from spring to summer. A control treatment without N was included. In the same orchard, three plants were fertilized with 300 g per tree of N-[($^{15}\text{NH}_4$)₂SO₄] labeled with ^{15}N to study the fate of N in the soil-orange tree system. Fruit yield and recovery of ^{15}N by tree biomass were evaluated. The efficiency of fertilization, estimate by tree N absorption, varied from 20 to 27% of the total applied N. Fruits exported 35% of the N taken up from fertilizer. Furthermore, the highest fruit yield was attained with N rate of 400 g/tree.

Index Terms: *Citrus*, isotope stable, mineral nutrition, nutrient distribution, ammonium sulfate.

INTRODUÇÃO

As plantas cítricas armazenam grande quantidade de nutrientes na biomassa (Mattos Jr. et al., 2003a). O nitrogênio (N) pode ser redistribuído na planta, contribuindo para formação de partes novas, como raízes, folhas, flores e frutos. Por esse motivo, o decréscimo da adubação nitrogenada pode não afetar a produção de frutos de imediato; contudo, quando as doses de N forem inferiores à exportação pelas colheitas, poderão ocorrer perdas na produção de frutos em anos posteriores.

A aplicação de fertilizantes, em especial dos nitrogenados, é comumente realizada nos pomares cítricos brasileiros. A dose de N recomendada para pomares em início de produção, 3 a 4 anos após o plantio das mudas no campo, é de 400 g/planta (Quaggio et al., 2005). Para plantas perenes, tais como os citros,

existem três fontes para suprir a demanda de N no desenvolvimento da planta: o N remobilizado das reservas da planta, o N nativo do solo e o N proveniente do fertilizante. Legaz et al. (1995) demonstraram que mais de 70% do N acumulado nos órgãos novos, desenvolvidos durante a primavera, foram oriundos do N armazenado em órgãos velhos, ou seja, foram remobilizados na planta, e os principais órgãos de reserva do nutriente foram as folhas velhas, contribuindo com cerca de 40-50% do total do N remobilizado na planta.

Informações sobre a absorção, pelas plantas cítricas, de N do solo (Boaretto et al., 1999) ou do fertilizante (Boaretto et al., 1999; Martínez et al., 2002; Quiñones et al., 2003 a, b) foram obtidas principalmente de experimentos realizados em vasos ou em lisímetros. Nestas condições, os resultados podem ser diferentes das condições de campo.

¹(Trabalho 183-06). Recebido em: 16-11-2006. Aceito para publicação em: 12-07-2007.

² Eng. Agr., Pós Doutorado, Centro de Solos e Recursos Ambientais, Instituto Agronômico, Av. Barão de Itapura 1481, Campinas, SP, CEP 13020-092, e-mail: boaretto@iac.sp.gov.br

³ Eng. Agr. Ph.D., Centro Citros Sylvio Moreira, Instituto Agronômico, Rod. Anhanguera, km 158, Cordeirópolis, SP CEP 13490.-970, e-mail: ddm@centrodecitricultura.br.

⁴ Eng. Agr., Professor Dr., Centro de Energia Nuclear na Agricultura - USP, Av. Centenário 303, Piracicaba, SP CEP 13400-970, e-mail: pcotrive@cena.usp.br, muraoka@cena.usp.br, aeboaret@cena.usp.br.

Em função das transformações do N no sistema solo-planta-atmosfera, apenas parte do N proveniente do fertilizante é absorvida pelas plantas. Isto porque o N aplicado no solo está sujeito a perdas por lixiviação, por escoamento superficial, por desnitrificação, por volatilização da amônia e pela imobilização na biomassa microbiana (Alva et al., 2005). Além do mais, o N absorvido pelas plantas também pode sair da biomassa pela perda por volatilização da amônia através da cutícula da folha (Farquhar et al., 1980) ou retornar ao solo com órgãos caídos (pétalas, cálices, ovários, frutos novos e folhas) (Dou et al., 1997). Também, uma porção significativa do N é exportada com a colheita dos frutos (Bataglia et al., 1977; Mattos Jr. et al., 2003a). Para caracterizar a disponibilidade e o aproveitamento de nutrientes em pomar de laranjeiras, os objetivos do presente trabalho foram: (i) avaliar o acúmulo de nutrientes em laranja-doce e a distribuição do N (¹⁵N) aplicado entre a primavera e o verão e (ii) validar a dose de N recomendada para pomares em início de produção.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em pomar de laranja 'Pêra' [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] enxertada sobre limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck), plantado em maio de 1999, em Latossolo Vermelho-Escuro, localizado no município de Elisário-SP. O pomar estava em início de produção, disposto no espaçamento de 7,0 m x 2,85 m (500 plantas ha⁻¹) e conduzido com controle mecânico do mato e sem irrigação. Os resultados das análises de folha e de solo, de amostras retiradas nos anos anteriores ao início dos tratamentos, demonstraram que o pomar estava em condição nutricional adequada com base nas recomendações de manejo (Quaggio et al., 2005).

Foram conduzidos dois experimentos no campo. O primeiro experimento, para validar a recomendação da adubação nitrogenada, foi instalado em blocos completamente casualizados, com cinco repetições, e os tratamentos consistiram de quatro doses de N: 150; 300; 450 e 600 g/planta de N, aplicados na forma de sulfato de amônio, mais um tratamento-controle sem N. As doses de N foram divididas em três parcelas (40% em setembro de 2002, 30% em novembro de 2002 e 30% em abril de 2003). O adubo foi aplicado na superfície do solo, em torno das plantas, na projeção da copa. Cada repetição foi composta por cinco plantas na linha, sendo realizada a amostragem nas três plantas centrais. A colheita ocorreu em outubro de 2003 e foram avaliadas a produção e o tamanho de frutos, e a qualidade do suco [sólidos solúveis totais (SST), acidez total (AT), e a relação SST/AT; Redd et al., 1992].

No segundo experimento, para estudar o destino do N-fertilizante no pomar, foram adubadas três plantas uniformes com 300 g de N-[(¹⁵NH₄)₂SO₄] com 4,914% de átomos de ¹⁵N. A aplicação do adubo no solo foi realizada conforme descrito no experimento anterior. O parcelamento da adubação e a aplicação do ¹⁵N foram realizados da seguinte forma:

- Planta 1 (P1): uma aplicação de 120 g de N, enriquecido em ¹⁵N, em setembro de 2002 e duas aplicações com 90 g de N, enriquecido em ¹⁵N, em novembro de 2002 e abril de 2003 [300 g de N-(¹⁵NH₄)₂SO₄].

- Planta 2 (P2): uma aplicação de 120 g de N, sem marcação isotópica, em setembro de 2002; e duas aplicações de 90 g de N, enriquecido em ¹⁵N, em novembro de 2002 e abril de 2003 [180 g de N-(¹⁵NH₄)₂SO₄].

- Planta 3 (P3): uma aplicação de 120 g de N, sem marcação, em setembro de 2002; e uma aplicação de 90 g de N, sem marcação, em novembro de 2002; e uma aplicação de 90 g de N, enriquecido em ¹⁵N, em abril de 2003 [90 g de N-(¹⁵NH₄)₂SO₄].

Na maturação dos frutos (SST = 7,7 °Brix e SST/AT = 15,6), em outubro de 2003, as plantas foram colhidas de forma destrutiva e apresentavam a seguinte conformação: altura média = 2,04 m; diâmetro médio da copa = 2,40 m, e diâmetro médio do tronco = 10 cm. Nestas plantas, foram avaliadas as distribuições da biomassa e dos nutrientes nos órgãos da laranja.

As plantas foram cortadas na junção do caule com o porta-enxerto. A parte aérea foi separada em tronco, ramos lenhosos, ramos finos (< 15 mm de diâmetro), folhas e frutos. O material vegetal fresco de cada parte foi pesado no campo, e as amostras colhidas foram levadas para o laboratório para análise de macro e micronutrientes, efetuando-se os procedimentos necessários. A área ocupada por uma planta (19,95 m² = 7,0 m x 2,85 m) foi dividida em 64 quadrantes e, nestes, foram amostradas as raízes laterais (fibrosas e radículas) com um tubo de aço inoxidável (diâmetro de 16 cm e comprimento de 20 cm), nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. As raízes de cada profundidade foram estimadas em função do volume de solo amostrado com o volume de solo do quadrante; foram somadas as diferentes profundidades e calculou-se o peso das raízes da planta. As raízes foram separadas do solo por lavagem com água sobre peneira no campo e, em seguida, lavadas com água destilada no laboratório e depois foram secas em estufa a 65 °C. A raiz pivotante foi arrancada, após escavação do terreno. O material vegetal coletado foi analisado pelos métodos rotineiros de laboratório (Bataglia et al., 1983). Também foi determinada a abundância isotópica de ¹⁵N (% em átomos) nas amostras, em espectrômetro de massa com analisador automático de N, modelo ANCA-SL, 20-20, da PDZ Europa (Krewe, UK).

Ao redor das plantas adubadas com ¹⁵N, o solo foi amostrado até 60 cm de profundidade. As amostras foram secas à temperatura ambiente e determinados o N total e também a abundância isotópica de ¹⁵N. A quantidade de N proveniente do fertilizante, no solo, foi estimada utilizando o volume de solo ocupado por uma planta. As determinações de N total e ¹⁵N nas amostras do solo seco foram determinadas conforme descrito anteriormente.

A recuperação do nitrogênio na planta ou no solo proveniente do fertilizante (Nppf) foi calculada pela expressão (Trivelin, 2000):

$$\%NPPF = (a-c)/(b-c) 100, \quad \text{onde:}$$

a = % em átomos de ¹⁵N do material vegetal fertilizado com ¹⁵N-sulfato de amônio;

b = % em átomos de ¹⁵N do fertilizante (sulfato de amônio com 4,914 % de átomos de ¹⁵N), e

c = % em átomos de ¹⁵N do material vegetal não fertilizado com ¹⁵N (controle).

Para estimar a quantidade de N-fertilizante (^{15}N) recuperada na primeira aplicação, o N recuperado na Planta 2, que recebeu o ^{15}N -fertilizante nas duas últimas aplicações, foi subtraído do recuperado na Planta 1, que recebeu três aplicações de ^{15}N . A mesma relação foi utilizada para estimar a quantidade de N recuperada da segunda aplicação, subtraindo o ^{15}N recuperado na Planta 3, que recebeu o fertilizante ^{15}N somente na última aplicação, pelo ^{15}N recuperado na Planta 2. Conseqüentemente, obteve-se a eficiência do ^{15}N para cada aplicação.

Os dados para as variáveis estudadas foram ajustados por regressão linear com o auxílio do modo Proc GLM do aplicativo SAS (SAS Institute, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Curva de resposta à adubação nitrogenada

Ocorreu incremento da produção de frutos em função do aumento das doses do fertilizante nitrogenado aplicadas no pomar (Figura 1). Apesar de o sulfato de amônio conter N e enxofre (S), o aumento no rendimento de fruto deve ser atribuído ao suprimento do N, pelas seguintes razões: o pomar foi adubado com superfosfato simples, que contém S; a concentração de S na folha ($2,8 \text{ g kg}^{-1}$) situou-se dentro da faixa considerada adequada para os citros (Tabela 1), conforme as faixas de interpretação do diagnóstico da análise de folhas descritas por Quaggio et al. (2005), e a dose de 50 kg ha^{-1} de S foi excedida na primeira dose do sulfato de amônio aplicada. Ainda, outras adições de S no pomar são obtidas com a aplicação regular de micronutrientes na forma de sais solúveis e defensivos, como acaricidas e fungicidas, às folhas, cujas quantidades somadas àquelas anteriormente descritas são suficientes para atender à demanda dos citros (Mattos Jr. et al., 2006a).

A produção de frutos ficou entre 0,5-0,7 caixa por planta, o que pode ser considerado boa produção para pomares nas mesmas condições. Apesar do bom manejo do pomar e da remobilização de N dos órgãos velhos para os órgãos novos, que pode contribuir com até 70% do N (Legaz et al. 1995), ocorreu resposta positiva às doses de N no mesmo ano agrícola (Figura 1). Essa situação sugere que as plantas mais novas respondem mais rápido à adubação com N que as plantas mais velhas, isso porque as plantas mais novas possuem uma menor reserva de N que as plantas mais velhas, nas quais o decréscimo da adubação nitrogenada pode não afetar a produção de frutos de imediato.

Utilizando-se da equação estimada para o rendimento de fruto da laranjeira em função das doses de N (Figura 1), foi possível determinar que o máximo rendimento fosse alcançado com a dose de $403 \text{ g/planta de N}$. As informações disponíveis no presente trabalho e, ainda, obtidas em uma rede de ensaios fatoriais de adubação N, P e K para pomares nos cinco primeiros anos após o plantio no campo (Mattos Jr. et al., 2006b), serviram de base para a revisão das recomendações da adubação dos citros em formação no Estado de São Paulo, publicadas anteriormente por Rajj et al. (1997). Essa revisão mais recente estabeleceu a dose de $400 \text{ g/planta de N}$ para pomares com 3 a 4 anos de idade (Quaggio et al., 2005).

O aumento nas doses de N propiciou diminuição na massa dos frutos, de 237 g no tratamento-testemunha (sem aplicação de N) para 216 g no tratamento com $600 \text{ g/planta de N}$; a resposta à adubação também refletiu no aumento do número de frutos por caixa (de $40,8 \text{ kg}$) (Figura 2). O incremento da produção em função do suprimento de N está associado ao aumento do número de frutos fixados por planta, que, por sua vez, afeta diretamente o tamanho dos frutos (Spiegel-Roy & Godschmidt, 1996). Resultados similares foram obtidos por Quaggio et al. (2006), sendo que esses autores, em experimentos de longa duração, desenvolvidos no campo, observaram que o tamanho do fruto foi inversamente correlacionado ao suprimento de N e ao número de fruto por planta, em duas variedades de laranjas-doces. No presente trabalho, a qualidade do suco, o teor de sólido solúvel total e a acidez total não foram influenciados pelas doses de N (resultados não apresentados).

Distribuição da biomassa e dos nutrientes nas laranjeiras

As folhas foram o órgão da laranjeira que apresentaram as maiores concentrações de macronutrientes na planta (Tabela 1). Os nutrientes absorvidos pelas raízes foram transportados para as folhas, onde ocorreram as principais reações bioquímicas, como a síntese de carboidratos e de outros compostos orgânicos, conforme discutido no trabalho de Mattos Jr. et al. (2003a). Já os teores de micronutrientes foram mais elevados nas raízes como reflexos do processo de absorção também considerados no trabalho citado acima.

A distribuição da matéria seca (MS) na laranjeira demonstrou que os frutos representaram 25% da MS total da planta, e quando se compara a MS da planta com e sem fruto, pode-se observar que o fruto foi uma fração significativa da biomassa total da planta. Foram necessários 17.400 g de MS para produzir 5.896 g MS de frutos, ou seja, cada três unidades de MS de tecido vegetativo da planta produziram uma unidade de MS de frutos. A matéria seca total da planta estava dividida 78% na parte aérea e 22% no sistema radicular. A MS do fruto representou 33% da MS da parte aérea e 25% de MS total da planta (Figura 3). Mattos Jr. et al. (2003b) e Quiñones et al. (2003a, b) encontraram resultados semelhantes para outras variedades de citros.

No momento da colheita, as quantidades de nutrientes nos frutos representavam 30% do N; 48% do P; 46% do K; 7% do Ca; 22% do Mg; 17% do S; 27% do B; 10% do Cu; 2% do Fe; 8% do Mn e 14% do Zn do total de nutrientes contidos na laranjeira (Tabela 2). Considerando a biomassa vegetal, as folhas continham a maior proporção de macronutrientes e de boro. A exportação de nutrientes em gramas por caixa ($40,8 \text{ kg}$) ou kg por tonelada de fruto está apresentada na Tabela 3. O N e o K foram os nutrientes exportados em maiores quantidades pelos frutos seguidos pelo $\text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S}$. Entretanto, a seqüência da ordem de exportação dos nutrientes pelos frutos pode ser influenciada por vários fatores, tais como: adubação, solo, clima, porta-enxerto e copa (Bataglia et al., 1977).

Partição do N do fertilizante (^{15}N) na laranjeira

Os teores de N foram similares para todas as plantas que receberam aplicações do adubo enriquecido com ^{15}N e variaram

de 5 g kg⁻¹ (tronco) a 29 g kg⁻¹ (folha) (Tabela 1). Como esperado, verifica-se que os valores de N na planta proveniente do fertilizante (Nppf) foram superiores nos tratamentos que receberam as maiores quantidades de N-fertilizante enriquecido (P1 > P2 > P3) (Tabela 4). A parte aérea da laranjeira acumulou, em média, 86% do N proveniente do fertilizante, enquanto o sistema radicular acumulou 14% de N. Resultados similares foram relatados por Quiñones et al. (2003a), em laranjeiras com oito anos de idade, Menino (2005), em plantas de 1 a 3 anos, e Legaz et al. (1995) e Martínez et al. (2002), ambos em plantas de 3 anos.

Durante o período de crescimento, o acúmulo de N proveniente do fertilizante nas laranjeiras ocorreu na seguinte ordem: fruto > folha > raiz > ramo > tronco (Tabela 4). Cerca de 76% do Nppf foi acumulado nos frutos, folhas e ramos novos, seguido pelas raízes (14%) e 10% nos órgãos velhos (tronco e ramos velhos). Estes resultados corroboraram com aqueles obtidos por Legaz et al. (1995), Martínez et al. (2002) e Quiñones et al. (2003a, b).

Para as adubações de setembro de 2002, novembro de 2002 e abril de 2003, a absorção pela planta do Nppf (eficiência de uso ou recuperação do N fertilizante), após um ano da aplicação do ¹⁵N fertilizante, foi de 27% no primeiro, 20% no segundo e 23% no terceiro parcelamento (Tabela 4). Mattos Jr. et al. (2003b), em pomar irrigado em solo arenoso, encontraram valores superiores da eficiência fertilizante em relação aos obtidos no presente estudo. Boaretto et al. (1999) e Martínez et al. (2002), em experimentos conduzidos em condições controladas, também relataram valores superiores aos encontrados no presente trabalho. Menino (2005) verificou que a eficiência de utilização do N-fertilizante aumentou com o tempo após a implantação do pomar, sendo de 6% no primeiro ano, 20% no segundo e 30% no terceiro ano.

As quantidades de ¹⁵N-fertilizante recuperadas foram, respectivamente, de 80; 35; 21 g para as plantas P1 (300 g de N-[(¹⁵NH₄)₂SO₄]), P2 (180 g de N-[(¹⁵NH₄)₂SO₄]) e P3 (90 g de N-[(¹⁵NH₄)₂SO₄]), ou seja, no período do primeiro parcelamento, as plantas absorveram do fertilizante 45 g de N (56%), no segundo 14 g de N (18%) e no terceiro 21 g de N (26%) do total de N proveniente do fertilizante. A baixa recuperação observada no período de novembro de 2002 deveu-se, provavelmente, às chuvas ocorridas depois da aplicação do ¹⁵N-fertilizante (Figura 4). No solo, na camada até 60 cm de profundidade, foi recuperado o máximo de 34% do N total aplicado, no primeiro parcelamento (Tabela 4).

A recuperação do N do fertilizante no sistema solo-planta foi 61% do total aplicado (média de 3 plantas). O restante do N aplicado no sistema que não foi determinado no solo e na planta, pode ter sido perdido por lixiviação, por desnitrificação e por volatilização da amônia do solo e das folhas das laranjeiras. Na colheita dos frutos, uma parcela significativa do N foi exportada do pomar, em média, 90 g/planta de N; desta quantidade, cerca de 10% é oriundo do N do fertilizante, o que correspondeu, em média, a 35% do Nppf (Tabela 4).

TABELA 1 - Teores de nutrientes nos órgãos de laranjeira 'Pêra'/'Cravo', com 5 anos de idade.

Órgão	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Folhas	29,0	2,7	18,4	43,5	2,1	2,8	20	17	225	47	22
Ramos finos	11,7	1,1	7,5	25,0	1,2	1,2	8	16	91	11	27
Ramos grossos	6,3	0,7	4,0	18,0	0,9	0,6	5	13	72	7	23
Tronco	4,9	0,7	3,3	8,5	0,5	0,2	2	7	133	6	12
Raiz pivotante	11,9	1,0	5,4	15,4	0,7	1,1	9	3	509	26	26
Raízes laterais	11,4	1,6	6,5	12,3	0,8	1,6	21	16	1733	143	55
Frutos	15,7	3,2	17,9	4,6	0,9	0,7	10	4	21	7	11

Ramos finos < 15 mm de diâmetro

Raízes laterais (fibrosas + radículas).

TABELA 2 - Quantidade e distribuição dos nutrientes nos vários órgãos de laranjeira 'Pêra'/'Cravo', com 5 anos de idade.

Órgão	---N---		---P---		---K---		---Ca---		---Mg---		---S---	
	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
Folhas	76	37	7	33	49	39	118	33	5	31	7	37
Ramos finos	33	16	3	14	22	18	74	21	3	19	3	16
Ramos grossos	24	12	3	14	16	13	73	20	3	19	2	11
Tronco	13	6	2	10	9	7	23	6	1	6	1	5
Raiz pivotante	46	22	4	19	21	17	59	16	3	19	4	21
Raízes laterais	14	7	2	10	8	6	15	4	1	6	2	10
Total (1)	206	100	21	100	125	100	362	100	16	100	19	100
Frutos (2)	90	-	19	-	106	-	27	-	5	-	4	-
1+2	296	-	40	-	231	-	389	-	21	-	23	-

Órgão	---B---		---Cu---		---Fe---		---Mn---		---Zn---	
	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg	%
Folhas	53	33	45	23	606	16	125	26	59	14
Ramos finos	20	12	45	23	263	5	31	6	76	18
Ramos grossos	20	12	52	27	286	5	27	6	90	21
Tronco	5	3	19	10	366	6	16	3	33	8
Raiz pivotante	37	23	13	7	1996	35	100	21	101	24
Raízes laterais	26	16	19	10	2158	38	179	37	68	16
Total (1)	161	100	193	100	5675	100	478	100	427	100
Frutos (2)	59	-	23	-	128	-	42	-	67	-
1+2	220	-	216	-	5803	-	520	-	494	-

Raízes laterais (fibrosas + radículas).

TABELA 3 - Exportação de nutrientes pelos frutos (massa seca = 16,5% massa fresca).

Macronutriente	g caixa ⁻¹	Kg t ⁻¹	Micronutriente	g caixa ⁻¹	Gt ⁻¹
N	105,7	2,6	B	67,3	1,7
P (P ₂ O ₅)	21,5 (51,6)	0,5 (1,3)	Cu	26,9	0,7
K (K ₂ O)	120,5 (144,6)	2,9 (3,5)	Fe	141,4	3,5
Ca	31,0	0,8	Mn	47,1	1,2
Mg	6,1	0,2	Zn	74,1	1,8
S	4,7	0,1	-	-	-

Caixa = 40,8 kg

TABELA 4 - Quantidade de N total e do fertilizante (^{15}N) recuperados na biomassa das laranjeiras e no solo (quantidade de ^{15}N -sulfato de amônio aplicado: Planta 1 = 300 g; Planta 2 = 180 g; e Planta 3 = 90 g).

	----- Planta 1 -----				----- Planta 2 -----				----- Planta 3 -----			
	Total N	$^{15}\text{Nppf}$	$^{15}\text{Nppf}$	^{15}NRp *	Total N	$^{15}\text{Nppf}$	$^{15}\text{Nppf}$	^{15}NR	Total N	$^{15}\text{Nppf}$	$^{15}\text{Nppf}$	^{15}NR
	-- g/planta --		---- % ----		-- g/planta --		---- % ----		-- g/planta --		---- % ----	
Frutos	95	29	30,9	10 (36)	86	11	9,6	6 (31)	90	8	7,5	9 (38)
Folhas	82	22	27,4	7 (28)	77	10	12,9	6 (29)	70	6	9,1	7 (29)
Ramos finos	33	9	25,2	3 (11)	38	6	15,2	3 (17)	29	2	7,6	2 (9)
Ramos grossos	23	5	22,3	2 (6)	30	3	9,8	2 (9)	19	1	5,3	1 (5)
Tronco	12	2	15,7	1 (3)	13	1	7,4	1 (3)	15	1	3,5	1 (5)
Raízes laterais	16	3	24,4	1 (4)	13	1	14,3	1 (3)	12	1	8,4	1 (5)
Raiz pivotante	51	10	17,7	3 (13)	43	3	6,0	2 (9)	43	2	3,9	2 (10)
Parte aérea (PA)	245	67	27,3	23 (83)	244	31	12,7	18 (88)	204	18	8,8	20 (85)
Sist. Rad. (RA)	67	13	19,4	4 (17)	56	4	7,1	2 (12)	55	3	5,5	3 (15)
PA + RA	312	80	25,6	27 (100)	300	35	11,7	20 (100)	259	21	8,1	23 (100)
	Total N	$^{15}\text{Nspf}$	$^{15}\text{Nspf}$	^{15}NRs *	Total N	$^{15}\text{Nspf}$	$^{15}\text{Nspf}$	^{15}NRs *	Total N	$^{15}\text{Nspf}$	$^{15}\text{Nspf}$	^{15}NRs *
Solo N	3227	101	3,1	34	3325	50	1,5	28	3129	14	0,4	16

Raízes laterais (raízes fibrosas + radículas).

Nppf: N na planta proveniente do fertilizante ou Nspf: N no solo proveniente do fertilizante.

^{15}NRp : N recuperado ou eficiência fertilizante = $\{^{15}\text{N} \text{ (g/planta)} / ^{15}\text{N} \text{ aplicado (g/planta)}\} 100$

(*) Porcentagem de N em função da quantidade total de N proveniente do fertilizante absorvido pela planta.

NRs: N do fertilizante recuperado no solo $\{^{15}\text{N} \text{ (g/planta)} / ^{15}\text{N} \text{ aplicado (g/planta)}\} 100$.

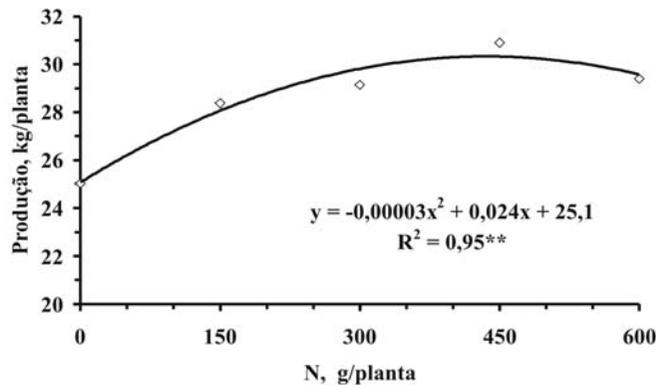


FIGURA 1 - Produção de frutos da laranjeira, em função da dose de nitrogênio aplicada ($P < 0,01$).

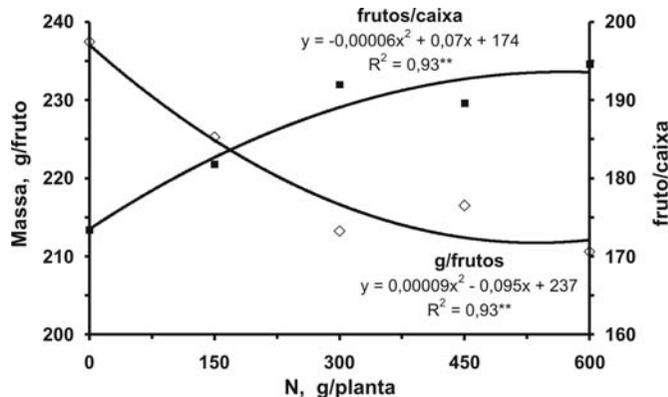


FIGURA 2 - Massa individual do fruto e número de frutos por caixa (40,8 kg), em função da dose de nitrogênio aplicada ($P < 0,01$).

CONCLUSÕES

1-Na laranjeira 'Pêra'/'Cravo', com 4 anos e meio de idade, foram necessárias três unidades de biomassa seca para produzir uma unidade de biomassa seca de frutos.

2-A dose de 400 g/planta de N, recomendada para pomares de laranjeiras entre 3 a 4 anos, propiciou a máxima produção de frutos.

3-A eficiência fertilizante do N variou de 20% a 27%, dependendo da época de aplicação; os menores valores corresponderam aos períodos mais chuvosos.

4-A quantidade de N exportada do pomar pelos frutos corresponde a uma parcela significativa do nutriente na planta, e aproximadamente 35% do N proveniente do fertilizante foi exportado pelos frutos.

AGRADECIMENTOS

A realização desta pesquisa foi possível graças ao apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp).

REFERÊNCIAS

- ALVA, A. K.; PARAMASIVAM, S.; FARES, A.; DELGADO, J. A.; MATTOS Jr., D.; SAJWAN, K. Nitrogen and irrigation management practices to improve nitrogen uptake efficiency and minimize leaching losses. **Journal of Crop Improvement**, Binghamton, v. 15, n. 2, p. 369-420, 2005.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise químicas de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. (Boletim Técnico 78).
- BATAGLIA, O. C.; RODRIGUEZ, O.; HIROCE, R.; GALLO, J. R.; FURLANI, P. R.; FURLANI, A. M. C. Composição mineral de frutos cítricos na colheita. **Bragantia**, Campinas, v.36, p.215-221, 1977.
- BOARETTO, A. E.; SCHIAVINATTO NETO, P.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; BISSANI, C. A. Eficiência da aplicação de ¹⁵N-uréia no solo e nas folhas de laranjeiras jovens. **Laranja**, Cordeirópolis, v.20, p.477-498, 1999.
- DOU, H.; ALVA, A. K.; KHAKURAL, B. R. Nitrogen mineralization from citrus tree residues under different production conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 1226-1232, 1997.
- FARQUHAR, G. D.; FIRTH, P. M.; WETSELAAR, R.; WEIR, B. On the gaseous exchange of ammonia between leaves and the environment: determination of the ammonia compensation point. **Plant Physiology**, Washington, v.66, p.710-714, 1980.
- LEGAZ, F.; SERNA, M. D.; PRIMO-MILO, E. Mobilization of the reserve N in citrus. **Plant and Soil**, The Hague, v.173, p.205-210, 1995.
- MARTÍNEZ, J. M.; BAÑULS, J.; QUIÑONES, A.; MARTÍN, B.; PRIMO-MILO, E.; LEGAZ, F. Fate and transformations of ¹⁵N labelled nitrogen applied in spring to *Citrus* trees. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v.77, p.361-367, 2002.
- MATTOS Jr., D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; BOARETTO, A. E. Manejo de fertilizantes nitrogenados e sulfatados na cultura do citros. In: SIMPÓSIO DE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA - DESAFIOS E TENDÊNCIAS, 2006a, Piracicaba, 17 a 19 de abril. CD-ROM.
- MATTOS Jr., D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; ALVA, A. K. Response of young citrus trees on selected rootstocks to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 29, n. 8, p. 1371-1385, 2006b.
- MATTOS Jr., D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; ALVA, A. K. Nutrient content of biomass components of Hamlin sweet orange trees. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, p.155-160, 2003a.
- MATTOS Jr., D.; GRAETZ, D. A.; ALVA, A. K. Biomass distribution and nitrogen-15 partitioning in citrus trees on a sandy Entisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.67, p.555-563, 2003b.
- MENINO, M. R. S. B. G. V. **Eficiência da utilização do azoto em jovens laranjeiras 'Lane Late' enxertadas em citranjeira 'Carrizo', na campina de faro**. 2005. 249f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônômica) - Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2005.
- QUAGGIO, J. A.; MATTOS Jr., D.; CANTARELLA, H. Fruit yield and quality of sweet oranges affected by nitrogen, phosphorus and potassium fertilization in tropical soils **Fruits**, Les Ulis, v.61, n.5, p.293-302, 2006.
- QUAGGIO, J. A.; MATTOS Jr., D.; CANTARELLA, H. Manejo da fertilidade do solo na citricultura. In: MATTOS Jr., D. et al. **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico, 2005. p.483-507.
- QUIÑONES, A.; BAÑULS, J.; PRIMO-MILLO, E.; LEGAZ, F. Effects of ¹⁵N application frequency on nitrogen uptake efficiency in Citrus trees. **Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.160, p.1429-1434, 2003a.
- QUIÑONES, A.; BAÑULS, J.; PRIMO-MILLO, E.; LEGAZ, F. Seasonal dynamic of ¹⁵N applied as nitrate with different irrigation systems and fertilizer management in citrus plants. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, v.3-4, p.155-161, 2003b.
- RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- REDD, J. B.; HENDRIX, D. L.; HENDRIX Jr., C. M. **Quality control manual for citrus processing plants**. Safety Harbour: AGScience, 1992. v.1, 290p.
- SAS INSTITUTE. **The SAS System** - Release 6.12. Cary: SAS Institute, 1996.
- SPIEGEL-ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E.E. **Biology of citrus**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 230p.
- TRIVELIN, P. C. O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: Três casos estudados com o uso do traçador ¹⁵N**. 2000. 143 f. Livre-Docência (Especialidade/Disciplina: Isótopos Estáveis) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.