

Indicadores agronômicos do potencial da soja (Cv. Celeste) para fins de adubação verde de verão¹

Milton Parron Padovan², Dejair Lopes de Almeida³, José Guilherme Marinho Guerra³,
Bruno José Rodrigues Alves³, Raul de Lucena Duarte Ribeiro⁴, Fábio Luiz de Oliveira⁵,
Leandro Azevedo Santos⁶ e Sebastião Manhães Souto³

Resumo - Experimentos conduzidos no município de Seropédica, RJ têm mostrado o potencial de certos cultivares de soja, principalmente 'Celeste', como produtores potencial de biomassa aérea. O objetivo deste estudo foi de caracterizar fenologicamente o cultivar Celeste, visando sua inclusão, como adubo verde de verão. Utilizou-se delineamento experimental de blocos casualizados, com oito tratamentos (épocas de amostragem) e cinco repetições. Os parâmetros quinzenalmente avaliados, correspondendo a 25, 40, 55, 70, 85, 100, 115 e 130 dias após emergência da soja (DAE), foram: nodulação, acumulação de biomassa aérea, teores de N, P, K, Ca e Mg nos tecidos, além da contribuição oriunda da fixação biológica de nitrogênio (FBN). A soja apresentou elevada produção de biomassa, com as maiores taxas diárias entre 70 e 85 DAE (estádios R₂/R₃). Porém, aos 100 DAE (R₄/R₅), a leguminosa atingiu máximo acúmulo de massa, mantendo-se estável até 130 DAE (R₆). Constatou-se que, a partir de 70 DAE, a soja já apresentava massa aérea adequada para corte. A taxa de FBN intensificou-se durante o estágio de florescimento (R₁/R₂), atingindo níveis máximos por ocasião da formação de legumes (vagens) e início da formação de grãos (R₄/R₅), período coincidente, portanto, com o de maior acúmulo de biomassa a ser incorporada ao solo.

Palavras chave: *Glycine max*, nodulação, fixação biológica de nitrogênio, agricultura orgânica.

Agronomic indicators of soybean (Cv. Celeste) potential as a summer green manure

Abstract - Field plots conducted in Seropédica, State of Rio de Janeiro, have shown the potential of certain soybean cultivars, specially 'Celeste', for inclusion as a summer green manure in crops rotation systems. A randomized block design was used to test eight treatments (sampling dates) with five replicates. Several variables evaluated at bimonthly intervals, corresponding to 25, 40, 55, 70, 85, 100, 115 and 130 days after emergence of soybean seedlings (DAE) were: root nodulation, above-ground biomass accumulation and nutrient contents (N, P, K, Ca and Mg) plant tissues, besides the contribution coming from nitrogen biological fixation (NBF). A significant biomass production by soybean was detected, with the highest daily accumulation occurring between 70 and 85 DAE (phases R₂/R₃). The maximum values, however, corresponded to 100 DAE and kept stabilized until 130 DAE (R₆). At 70 DAE, 'Celeste' the soybean already presented a biomass volume adequate for cutting. The NBF ratio being intensified at flowering (R₁/R₂), attaining maximum levels by the time of legume (pod) and grain (R₄/R₅), coinciding with the greatest accumulation of above-ground biomass for incorporation to the soil.

Key words: *Glycine max*, nodulation, biological fixation nitrogen, organic agriculture.

¹ Trabalho integrante das Redes Cooperativas de Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, Projeto Rede Agroecologia Rio, com apoio da Faperj e Finep

² Ph. D. em Agronomia, Professor da UNIDERP- Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal, Av. Pres. Vargas 1775, CEP 79825-090, Dourados, MS. E-mail: padovan@mail.uniderp.br

³ Eng. Agr. Ph. D. da Embrapa Agrobiologia, BR 465, km 7, CEP 23 851-970 Seropédica, RJ. E-mail: dejair@cnpab.embrapa.br, gmguerra@cnpab.embrapa.br, smsouto@cnpab.embrapa.br; autor correspondente,

⁴ Eng. Agr. Ph. D., Prof. Adjunto da UFRRJ, Instituto de Agronomia, BR 465, km 7, Seropédica, RJ. E-mail: lucena@ufrj.br;

⁵ Professor Titular da UNITINS- Universidade de Tocantins, Quadra 108 Sul, Alameda 11, Lote 03, CP 173, CEP 77020-122, Palmas- TO. E-mail: fabioluiz@unitins.br

⁶ Embrapa-Agrobiologia/UFRRJ. Bolsista CNPq/PIBIC. E-mail: leoazevedo2001@yahoo.com.br

Recebido para publicação em 01/01/2005.

Introdução

O cultivo da soja sob manejo orgânico constitui-se em alternativa em sistemas de produção diversificados, sobretudo para a agricultura familiar que pode obter um produto com maior valor qualidade, além da possibilidade de uso como adubo verde. PADOVAN et al. (2002) identificaram cultivares de soja que acumularam de biomassa na parte aérea em até 8,3 t.ha⁻¹, em 81 dias de ciclo, demonstrando o potencial da cultura como adubo verde. O potencial da soja para a adubação verde no Brasil, manejada em conformidade com os preceitos da agricultura orgânica, baseia-se em características fenológicas da cultura, como precocidade, adequada acumulação de nutrientes e biomassa, além de dispor de variedades adaptadas a cultivos em diferentes épocas e eco-regiões no país. Quanto a soja como adubo verde, há poucos registros na literaturas sobre o assunto realizados no Brasil, como os de DUTRA (1919), SCARANARI e INFORZATO (1952) e CARDOSO (1956).

A soja destaca-se também pelo elevado benefício da fixação biológica de N₂ (FBN), segundo ZOTARELLI et al (2002), característica esta relevante numa espécie para ser cultivada como adubo verde, além do que, a soja como adubo verde no trabalho de PADOVAN (2002) apresentou padrão de decomposição de biomassa semelhante ao encontrado por RESENDE (2000) nas plantas de espécies (*Canavalia ensiformis*, *Mucuna deeringiana* e *Crotalaria juncea*), tradicionalmente usadas como adubo verde.

No entanto, pouco se conhece sobre a acumulação de fitomassa, nutrientes e a dinâmica da FBN, com intuito de nortear qual o melhor estágio de desenvolvimento da soja para realização do manejo de corte da cultura.

O estudo de alguns parâmetros, como os relacionados a análise de crescimento (BEADLE, 1985; FRANÇA 1996), facilita o melhor entendimento de determinadas características durante o desenvolvimento das culturas.

Este trabalho objetivou a caracterização fenológica da soja cultivar BRS-Celeste, visando a identificação dos estádios de desenvolvimento da leguminosa mais adequados ao manejo para corte, para fins de adubação verde, levando em consideração a nodulação, acumulação de fitomassa e nutrientes e contribuição da FBN para a cultura.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido no ano agrícola 2000/2001, no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), em Seropédica-RJ. É situado a 22° 46' S e 43° 41' W e altitude de 33 m. O solo é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, cujo resultado das análises químicas de amostra superficial (0–20 cm) apresentou pH em água: 6,4; Al⁺³: 0,0 cmol/dm³; Ca⁺²: 3,4 cmol/dm³; Mg⁺²: 1,9 cmol/dm³; P: 52 mg/dm³; K⁺: 145 mg/dm³ e MO (matéria orgânica): 2,60 % .

O estudo com a cultura da soja (*Glycine max*) foi feito com o cultivar “Celeste”, que anteriormente mostrou o rendimento de biomassa e acumulação de nutrientes para as condições locais (PADOVAN et al, 2002).

O delineamento adotado foi o de blocos ao acaso, com oito tratamentos representados pelas oito épocas de amostragens das plantas, com cinco repetições. As parcelas foram constituídas por oito fileiras de 10 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m entre si, com densidade de 12 a 20 plantas/m.

A adubação consistiu de 200 kg.ha⁻¹ de termofosfato magnésiano e 200 kg.ha⁻¹ de cinzas de lenha, como fontes, principalmente de fósforo (19 % P₂O₅) e magnésio (18 % MgO) no caso de termofosfato e potássio (6 % K) na cinza.

As estirpes BR 29 e BR 96 de *Bradyrhizobium japonicum*, recomendadas para a cultura da soja, foram inoculadas nas sementes. A semeadura foi realizada em 02/11/2000, em plantio direto, sobre a palhada de milho consorciado com feijão.

O controle das plantas espontâneas nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura foi realizado através de capina manual, aos 20 dias após a emergência da soja. A ocorrência de insetos-praga foi monitorada através de observações realizadas diretamente nas plantas a cada dois dias, não sendo constatado níveis destes insetos que normalmente atacam a soja, que justificassem a utilização de qualquer intervenção para o controle.

Aos 25, 40, 55, 70, 85, 100, 115 e 130 dias após a emergência (DAE) da soja, foram avaliados os seguintes parâmetros: número e peso de nódulos, altura da planta, acumulação de fitomassa, teores de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea da leguminosa e quantificação da FBN.

Até 40 DAE correspondeu ao estágio vegetativo da planta, sendo que aos 55, 70, 85, 100, 115 e 130 DAE, corresponderam respectivamente, o início de florescimento, florescimento pleno, início de formação de legumes (vagens), plena formação de legumes, início formação de grãos e grãos já formados.

A nodulação foi avaliada em cinco plantas de cada parcela, após lavagem e contagem dos nódulos do sistema radicular. Posteriormente, os nódulos foram secados em estufa de ventilação forçada a 65°C, até peso constante.

Para determinação da acumulação de fitomassa, N, P, K, Ca e Mg na parte aérea da soja, as plantas contidas em 1 m² da área útil das parcelas foram cortadas rente ao solo e pesadas para determinação da massa verde. Desse material, cinco plantas foram separadas ao acaso e secadas em estufa de ventilação forçada a 65°C, até peso constante.

A estimativa da FBN na soja foi realizada através do método da abundância natural do isótopo ¹⁵N (δ ¹⁵N) (SHEARER e KOHL, 1986), utilizando-se para cálculo o δ ¹⁵N de ‘plantas referência’ não fixadoras de nitrogênio, cultivadas na mesma área onde foi conduzida a cultura da soja (PEOPLES et al., 1989). Utilizaram-se como referência as plantas das espécies espontâneas *Eleusine indica*

(L.) Gaertn. (pé-de-galinha), *Euphorbia heterophylla* L. (amendoim bravo), *Bidens pilosa* L. (picão-preto) e *Emilia sonchifolia* DC (falsa-serralha).

As amostras da soja e das plantas referência foram secas em estufa a 65° C, até peso constante, moídas e analisadas por espectrometria de massa para determinação do N total e % de átomos de ¹⁵N (% at. ¹⁵N), conforme descrição de BODDEY et al. (2001).

O delta (δ) ¹⁵N das plantas foi calculado através da fórmula:

$$\delta^{15}N (\%) = 1000 X \left(\frac{(\% \text{ átomos } ^{15}N \text{ na amostra} - 0,3663)}{(0,3663)} \right)$$

A partir dos valores de δ ¹⁵N, foi determinado a porcentagem do N derivado do ar (%Ndfa) pela seguinte fórmula:

$$\% Ndfa = 100 X \left(\frac{(\delta^{15}N \text{ planta testemunh a} - \delta^{15}N \text{ planta leguminosa})}{(\delta^{15}N \text{ planta testemunh a} - B)} \right)$$

Onde B é o fator de correção do fracionamento isotópico ocorrido durante o processo de FBN pelas plantas de soja. Para os cálculos foi utilizado o valor de -1,3 (PEOPLES et al., 1989).

A quantidade de N fixado do ar (kg.ha⁻¹) pela soja e acumulado em sua parte aérea foi calculado através da seguinte equação:

$$N_{\text{fix}} (\text{Kg.ha}^{-1}) = \left(\frac{\% Ndfa}{100} \right) \times \text{peso seco da parte aérea da soja} \times \left(\frac{\% N \text{ total}}{100} \right)$$

Para os cálculos como parte da análise de crescimento e acumulação de nutrientes, foram utilizadas as seguintes equações:

$$(1) \quad TCA = \left(\frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1} \right) \quad (2) \quad TAA = \left(\frac{U_2 - U_1}{T_2 - T_1} \right)$$

(1) Taxa de crescimento absoluto

(2) Taxa de acumulação absoluta

W = Peso seco da massa da parte aérea da soja; T = Tempo percorrido;

U = Quantidade de nutriente acumulado pela parte aérea da soja

Para análise de N, utilizou-se a digestão sulfúrica e destilação à vapor (ALVES et al., 1994). Os teores de P, K, Ca e Mg foram determinados a partir de digestão nitroperclórica, conforme SILVA (1999).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias foram separadas pela aplicação do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As equações de regressão foram obtidas mediante o uso do softwear versão SAEG 9.0.

Resultados e discussão

O número de nódulos no sistema radicular das plantas aumentou com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo aos 100 dias após emergência (DAE), correspondendo ao final do estágio R₄ e início do R₅ (FEHR e CAVINESS, 1977), ocasião em que a soja se encontrava na fase de formação de legumes (vagens) e início de formação de grãos, mantendo-se estável aos 115 DAE, sem diferenças significativas, porém declinando aos 130 DAE, quando os grãos da soja já se encontravam formados (Tabela 1). Verificou-se que a maior massa nodular foi alcançada aos 100 DAE, declinando gradativamente nas avaliações seguintes, sem diferenças significativas. Pela equação ajustada, o máximo de peso de nódulos foi obtido aos 121 DAE.

Resultados semelhantes aos obtidos neste estudo (Tabela 1) foram detectados por DÖBEREINER e AR-RUDA (1967) e BOHRER e HUNGRIA (1998) quanto ao número de nódulos por planta e FONTANELLI et al. (2000) referente à massa nodular, considerando os estádios entre florescimento e formação de legumes da soja. Deve-se ressaltar, também, a elevada nodulação alcançada pelo cultivar Celeste desde o início do florescimento, aos 55 dias após a emergência (R₁), comparando-se com os

Tabela 1 - Dados fenológicos da soja, durante o ciclo do cultivar Celeste, submetida ao manejo orgânico. Médias de cinco repetições

Período de amostragem (DAE) ⁽¹⁾	N.º de nódulos/planta	Massa nodular (mg.planta ⁻¹)	Altura de planta (cm)	Massa seca parte aérea (t. ha ⁻¹)
25	1	11	23	0,47
40	2	199	36	1,59
55	35	232	71	3,22
70	41	389	89	4,89
85	55	470	93	7,34
100	76	648	95	8,94
115	78	566	96	9,15
130	52	539	96	9,20

(1)DAE- dias após a emergência.

dados obtidos por VARGAS et al. (1982).

Os resultados mostrados na Tabela 1 destacam que a soja apresentou as maiores elongações no caule principal até o final do florescimento, continuando a crescer até o início da formação de grãos, porém não diferindo significativamente entre os estádios R_2 e R_6 . A altura da planta (Y) em função das épocas de amostragem (X) apresentou o modelo quadrático decrescente, expresso pela equação ajustada $Y=36,3+2,5205X-0,01172X^2$ ($R^2=0,97$; $p=0,0002$), onde altura máxima deve ser alcançada aos 107 DAE.

O período vegetativo determina o porte das plantas e, conseqüentemente, o desempenho final das cultivares de crescimento determinado, adaptadas ao clima tropical, segundo NOGUEIRA et al. (1984). Os cultivares de hábito determinado, paralisam o crescimento do caule, dos ramos e a produção de folhas, a partir do florescimento (EGLI e LEGGETT (1973). Entretanto, essa afirmação não é verdadeira para todos os cultivares, uma vez que, conforme os resultados apresentados na Tabela 1, verifica-se que após o florescimento ocorreu aumento na altura de planta e na acumulação de massa pelo cultivar Celeste, de hábito determinado. EGLI e LEGGETT (1973) também verificaram no estádio de florescimento que o cultivar D66-5566, de hábito de crescimento determinado, apresentava 84% da máxima acumulação de massa no estádio de florescimento, continuando, portanto, a se desenvolver durante o período reprodutivo.

A curva de acumulação de biomassa seca da parte

aérea da soja acompanhou à da massa nodular (Figura 1), mostrando dependência da primeira variável em relação à segunda ($R=0,97$), conforme já observado por RIOS e DOBEREINER (1972).

A partir dos 70 DAE, a soja acumulou elevada quantidade de massa na parte aérea (4,89 t. ha⁻¹), sendo um momento oportuno para manejo de corte das plantas, dependendo do objetivo do agricultor. Entretanto, a acumulação máxima de massa pela soja ocorreu na fase em que os legumes já se encontravam formados e os grãos em início de formação, aos 100 DAE, compreendendo os estádios de desenvolvimento R_4/R_5 (FEHR e CAVINESS, 1977), atingindo 8,9 t.ha⁻¹, permanecendo até a última amostragem sem alterações significativas (Tabela 1). Pela equação ajustada, acumulação máxima de biomassa deve ser obtida aos 118 DAE.

Em um estudo com diferentes cultivares de soja, IBARRA (1990) constatou que acúmulo máximo de massa total ocorreu no estádio R_7 , envolvendo a parte vegetativa e reprodutiva, mesmo com acentuada perda de biomassa seca da parte vegetativa, devido à queda de folhas senescentes e à translocação dos nutrientes destas para os legumes e sementes.

Entre os 70 e 85 DAE, compreendendo os estádios R_2 (florescimento pleno) e R_3 (início da formação de legumes), ocorreu a maior taxa de crescimento absoluto, havendo acumulação de 164 kg.ha⁻¹.dia⁻¹ de fitomassa na parte aérea da soja (Tabela 2). HANWAY e WEBER (1971a), registraram a maior acumulação de massa total entre o florescimento pleno e o final de formação de grãos,

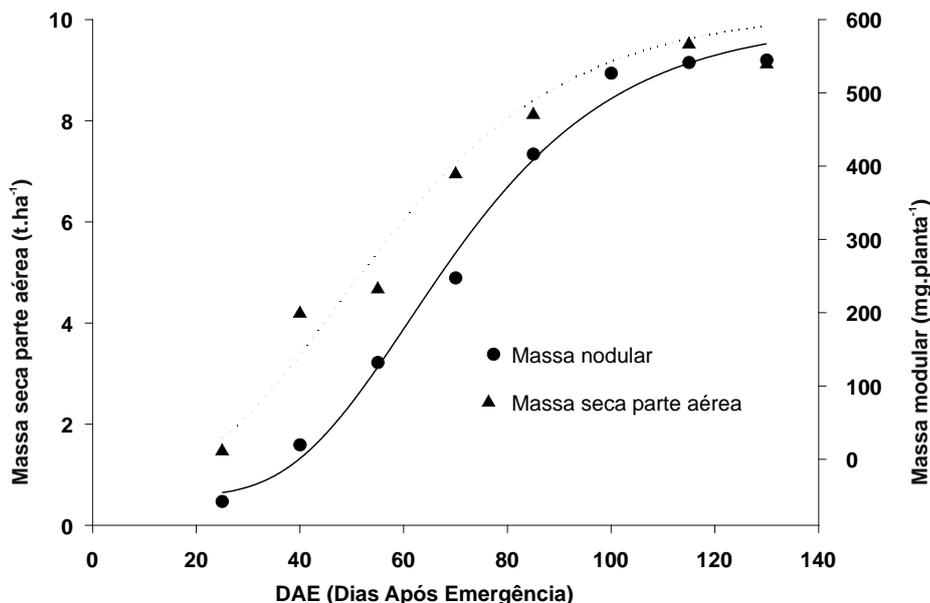


Figura 1 - Evolução temporal da acumulação de matéria seca da parte aérea da planta e da massa nodular da soja, cultivar Celeste. As equações ajustadas do peso de nódulos e biomassa seca em relação ao DAE foram, respectivamente, $Y = -336,3 + 14,960X - 0,06138X^2$ ($R^2 = 0,97$) e $Y_1 = 1,34 - 0,1144X_1 + 0,003681X_1^2 - 0,00001802X_1^3$ ($R^2 = 0,99$).

alcançando entre 88 e 149 kg.ha⁻¹.dia⁻¹, com diferenças significativas entre cultivares.

Em um estudo de três anos com cultura soja, HENDERSON e KAMPRATH (1970) obtiveram de 7,6 a 12,4 t.ha⁻¹ de biomassa seca da parte aérea. Os autores constataram o aumento progressivo da fitomassa aérea pela soja, atingindo o máximo na fase de início da formação de grãos, alcançando a 339 kg.ha⁻¹.dia⁻¹.

No presente experimento, a taxa de acumulação absoluta (TAA) foi análoga à taxa de crescimento absoluto (TCA), baseada no acúmulo de nutrientes na biomassa seca da cultura. A Tabela 2 mostra dois picos de máxima acumulação de N. O primeiro entre 70 e 85 dias após emergência da soja, compreendendo o início de formação de legumes, atingindo 3,11 kg.ha⁻¹.dia⁻¹. Este primeiro pico apresentou a mesma tendência verificada quanto à acumulação de biomassa pela parte aérea das plantas de soja até este estágio de desenvolvimento. O segundo pico de acumulação de N durante o período de avaliação da soja, ocorreu entre 115 e 130 DAE, no período final de formação de grãos, com 3,47 kg.ha⁻¹.dia⁻¹. A taxa de acumulação absoluta de N (TAA_N) obtida neste estudo foi muito inferior ao verificado por HENDERSON e KAMPRATH (1970), onde alcançou 6,9 kg.ha⁻¹.dia⁻¹.

Os valores relativos à percentagem de N derivado da

fixação biológica de N₂ acumulado pela parte aérea do cultivar de soja Celeste, representam a média das quatro plantas referência utilizadas (Tabela 3). Houve maior aceleração no processo de fixação biológica do N durante o estágio de florescimento (R₁/R₂), atingindo os níveis máximos por ocasião da formação de legumes e início de formação de grãos (R₄/R₅).

A maior TAA_N, oriunda da FBN, ocorreu entre 85 e 100 DAE, atingindo 2,18 kg.ha⁻¹.dia⁻¹ (Tabela 2). A partir dessa fase, ainda permanecem elevado o percentual de N derivado da FBN acumulado pela parte aérea das plantas, porém o ritmo da fixação biológica é menor (Tabela 3), uma vez que está ocorrendo rápida senescência da massa nodular (Tabela 1) e a participação do N do solo aumenta para atender à crescente acumulação de N pela soja até à avaliação realizada aos 130 DAE (R₆), quando os grãos já se encontravam quase totalmente formados (Tabela 4).

O máximo da FBN ocorreu durante a formação de legumes, mantendo-se durante a formação dos grãos, apresentando uma atividade de 68% do máximo quando as sementes já haviam atingido 66% do peso verde total (FRANCO et al., 1978). Os autores verificaram também que o aumento da FBN ocorrido no período da floração até o estágio de formação de legumes, foi devido ao aumento da massa nodular, o que pode ser confirmado neste estudo

Tabela 2 - Taxas de crescimento absoluto (TCA) e acumulação absoluta (TAA) de nutrientes na parte aérea da soja, durante o ciclo do cultivar Celeste, submetida a manejo orgânico. Médias de cinco repetições

Dias após emergência	Massa seca	N-FBN	N total	kg .ha ⁻¹ . dia ⁻¹			
				P	K	Ca	Mg
25	18,94	0,08	0,37	0,12	0,59	0,29	0,10
40	74,34	0,39	1,20	0,36	1,62	1,37	0,38
55	108,93	0,69	1,34	0,40	2,18	1,07	0,41
70	110,86	1,20	1,30	0,28	3,42	0,78	0,37
85	164,00	1,86	3,11	0,28	0,06	1,76	0,39
100	106,62	2,18	2,19	0,12	0,34	0,60	0,59
115	13,86	0,79	1,89	0,31	0,61	0,49	0,09
130	3,30	1,12	3,47	0,02	0,17	1,53	0,02

Tabela 3 - Percentagem de N derivado da FBN acumulado pela soja cultivar Celeste durante o seu ciclo sob manejo orgânico, utilizando-se diferentes espécies de 'plantas referência'. Médias de cinco repetições⁽¹⁾

Período de amostragem (DAE) ⁽²⁾	Acumulação na parte aérea					
	Pé de galinha	Leiteiro	Picão preto		Serralha	Média
			% N-FBN			
25	25 D	18 C	19 C	21 D	21 D	
40	30 CD	25 C	38 B	19 D	28 CD	
55	40 C	32 C	39 B	38 C	37 C	
70	56 B	49 B	59 A	51 BC	54 B	
85	62 AB	56 AB	57 A	51 BC	56	
AB						
100	74 A	68 A	66 A	68 A	69 A	
115	62 AB	61 AB	66 A	59 AB	62 AB	
130	62 AB	48 B	53 AB	66 A	57 AB	

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(Tabelas 1 e 3).

Segundo BROSE (1978), no período de enchimento de grãos há competição pelos produtos da fotossíntese, sendo esta considerada como uma das principais causas da redução na atividade de fixação do N_2 .

Deve-se ressaltar que a máxima FBN é alcançada pela soja, exatamente no período que antecede a maior demanda de N, ou seja, na fase de formação de legumes, proporcionando o suporte necessário para a formação de grãos.

Neste estudo, os níveis medianos de FBN encontrados, comparando com os percentuais obtidos por BODDEY et al. (1984) e ZOTARELLI (2000), devem-se provavelmente, às adequadas condições do solo e também do manejo adequado do mesmo, mediante práticas conservacionistas como rotação e consorciação de culturas, adubações orgânicas e plantio direto, resultando em adequados níveis de matéria orgânica e de nitrogênio no solo.

Os contínuos períodos nublados, ocorridos no mês de janeiro de 2001 (Figura 2), ocasião em que a soja se encontrava no estágio de maior atividade de FBN, podem ter conduzido à menor interceptação da radiação solar pelas plantas de soja, contribuindo também para a redução da taxa fotossintética e da FBN. A baixa precipitação pluvial, aliada às altas temperaturas ocorridas em janeiro (Figura 2), também devem ter contribuído para diminuição da atividade fotossintética, resultando em menor FBN, conforme discutido por FRANCO e NEVES (1992). FRANCO et al. (1978) constataram que, após duas semanas sem precipitação pluvial, juntamente com altas temperaturas, ocorrida na segunda quinzena de janeiro, houve drástica redução na fixação de N_2 pelas plantas.

A taxa de acumulação de fósforo (TAA_p) apresentou oscilações durante os diferentes estádios de desenvolvimento da soja, entretanto a maior TAA_p ocorreu entre 25 e 55 dias após a emergência da cultura, atingindo até $0,40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ (Tabela 2), valores similares aos níveis constatados por HENDERSON e KAMPRATH (1970).

O pico de maior acumulação absoluta de potássio ocorreu entre 25 e 70 DAE, alcançando até $3,42 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

dia^{-1} , reduzindo rapidamente sua taxa de acumulação até o fim do período estudado (Tabela 2).

A taxa de acumulação absoluta de cálcio apresentou três picos, sendo aos 40, 85 e aos 130 DAE, com $1,37$, $1,76$ e $1,53 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$, respectivamente (Tabela 2).

Por outro lado, a soja apresentou pouca variação na acumulação de magnésio entre 25 e 85 DAE, oscilando de $0,37$ a $0,41 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$. A maior TAA ocorreu entre 85 e 100 DAE, acumulando até $0,59 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$, reduzindo drasticamente, a partir daí esse processo (Tabela 2).

Maiores taxas de acumulação de potássio, cálcio e magnésio do que as encontradas neste estudo foram constatadas por HENDERSON e KAMPRATH (1970), atingindo até $4,1$ (K), $2,1$ (Ca) e $0,69$ (Mg) $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$, quando a soja se encontrava início da formação dos grãos.

Em decorrência dos objetivos do estudo com soja, não houve preocupação em separar os nutrientes acumulados durante os períodos vegetativo e reprodutivo. Enfatizou-se o acúmulo total de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea das plantas. O cultivar de soja testado apresentou comportamento peculiar em relação a cada um dos nutrientes avaliados. Houve acúmulo crescente de N até à última amostragem, alcançando $221 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, no estágio de desenvolvimento R_6 (Tabela 4).

Os estudos geralmente demonstram redução do teor de N nas partes vegetativas e aumento nas sementes, com o avanço do período reprodutivo até à maturação das plantas (HENDERSON e KAMPRATH, 1970). Os autores verificaram a continuidade na acumulação de N depois dos legumes e sementes formadas, indicando que as plantas continuam a fixá-lo durante esse período.

A quantidade total de N presente na parte aérea das plantas aos 130 dias obtida por BATAGLIA et al. (1976), correspondendo ao estágio de formação avançada dos grãos, foi duas vezes maior do que o máximo acumulado pelas plantas aos 90 dias (formação de legumes), corroborando com os resultados obtidos neste trabalho (Tabela 4). Isto indica que, mesmo no final do estágio de formação de grãos, outros processos além da translocação, devem estar atuando para atender às necessidades da cultura

Tabela 4 - Nutrientes acumulados pela soja, durante o ciclo do cultivar Celeste, submetido a manejo orgânico. Médias de cinco repetições⁽¹⁾

Período de amostragem (DAE) ⁽²⁾	Acumulação na parte aérea					
	N-FBN	N total	P total	K total	Ca total	Mg total
	kg.ha ⁻¹					
25	2 D	9 F	3 D	15 C	7 E	3 E
40	8 D	27 EF	8 CD	39 BC	28 DE	8 DE
55	18 D	47 EF	14 BCD	72 B	44 CD	14 CD
70	36 CD	67 DE	19 ABC	123 A	56 C	20 BC
85	64 BC	114 CD	23 AB	129 A	82 B	26 B
100	97 AB	141 BC	24 AB	124 A	91 B	35 A
115	109 A	169 B	29 A	141 A	98 AB	36 A
130	125 A	221 A	29 A	139 A	121 A	36 A

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível 5% de probabilidade.

⁽²⁾ DAE: dias após emergência.

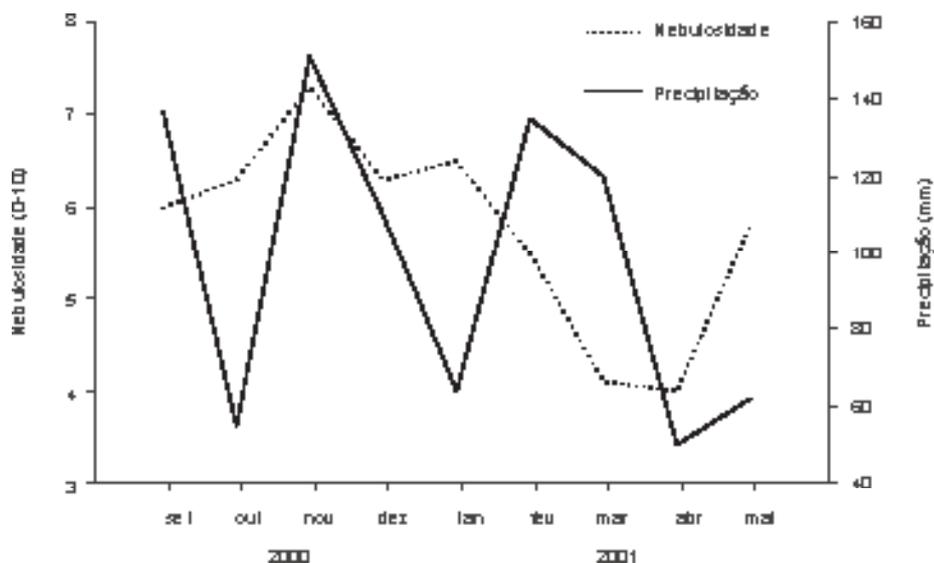


Figura 2 - Variação sazonal da nebulosidade (escala 0 – 10) e precipitação pluvial em Seropédica-RJ, 2000/2001 (Pesagro-Rio / EEI / INMET).

quanto a esse nutriente.

A Tabela 4 mostra que o padrão de acúmulo de P foi diferente, comparando-se ao N, apresentando incrementos até 85 DAE (início da formação de legumes), mantendo-se estável até 100 DAE, voltando a acumular mais P até os 115 DAE, porém sem diferença significativa, permanecendo até à amostragem realizada aos 130 DAE, com a mesma quantidade de P acumulado aos 115 DAE. Por outro lado, HENDERSON e KAMPRATH (1970) e IBARRA (1990) constataram que o padrão de acumulação de fósforo foi similar ao do N, aumentando o teor na parte aérea das plantas durante a formação de grãos, acompanhando o incremento da massa seca.

Quanto ao K, verifica-se rápida acumulação na parte aérea da soja até o final do estágio de florescimento (R_2), aos 70 DAE, mantendo-se até à última amostragem, realizada aos 130 DAE, sem diferenças significativas (Tabela 3), não concordando com os resultados obtidos por IBARRA (1990).

Pode-se notar na Tabela 4, que o padrão de acumulação de cálcio foi similar ao do nitrogênio, aumentando o acúmulo na parte aérea das plantas durante todos os estádios de desenvolvimento da cultura.

O padrão de acumulação de Mg foi similar ao de biomassa pelas plantas, atingindo valores máximos aos 100 DAE, no estágio de início de formação de grãos, permanecendo sem diferenças significativas até à última amostragem, realizada quando os grãos se encontravam completamente formados (Tabela 4).

No estágio de formação de legumes, houve maior acúmulo de cálcio e magnésio, correspondendo a 58,7 e 27,8 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente, segundo BATAGLIA et al. (1976). O máximo de potássio acumulado ocorreu no

início da fase de formação de grãos, com 80,2 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, enquanto o nitrogênio e o fósforo apresentaram a maior acumulação no final da formação de grãos, atingindo 146,1 e 12,9 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente.

Essa divergência de resultados se deve à complexidade de fatores envolvidos nos processos de absorção e acumulação de nutrientes pelas plantas, podendo-se destacar as características genéticas de cada cultivar, o manejo adotado e as diferentes condições edafoclimáticas em que foram desenvolvidos os estudos.

Conclusões

A partir dos 70 DAE, o cultivar de soja Celeste por já ter acumulado elevada quantidade de biomassa e nutrientes na parte aérea, pode ser cortada e usada, dependendo do objetivo do agricultor. Entretanto, a maximização do seu potencial para fins de adubação verde, ocorreu no estágio de formação de legumes (vagens) e início da formação de grãos, coincidente com níveis máximos de fixação biológica de nitrogênio nas plantas.

Referências

ALVES, B. J. R.; SANTOS, J. C. F.; URQUIAGA, S.; BODDEY, M. R. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: ARAÚJO, R. S.; HUNGRIA, M. (Eds.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p.449-469.

BATAGLIA, O. C.; MASCARENHAS, H. A. A.; TEIXEIRA, J. P. F.; TISSELI FILHO, O. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, cultivar Santa Rosa. **Bragantia**, Campinas, v.35, n.21, p.237-247, 1976.

BEADLE, C. L. **Análisis del crecimiento vegetal**. Montevideo: América, 1985. 20p.

BODDEY, R. M.; CHALK, P. M.; VICTORIA, R. L.; MATSUI, E.

Nitrogen fixation by nodulated soybean under tropical field conditions estimated by the ¹⁵N isotope dilution technique. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.16, p.583-588, 1984.

BODDEY, R. M.; POLIDORO, J. C.; RESENDE, A. S.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Use of the ¹⁵N abundance technique for the quantification of the contribution of N₂ fixation to sugar cane and other grasses. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.28, p.889-895, 2001.

BOHRER, T. R. J.; HUNGRIA, M. Avaliação de cultivares de soja quanto à fixação biológica de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p.937-952, 1998.

CARDOSO, E. M. **Contribuição para o estudo da adubação verde dos canaviais**. 1956. 109p. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, Piracicaba.

DÖBEREINER, J.; ARRUDA, N. B. de. Interrelações entre variedades e nutrição na nodulação e simbiose da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.2, p. 475-487, 1967.

DUTRA, E. R. P. **Adubos verdes: sua produção e modo de emprego**. São Paulo. Secretaria da Agricultura Comércio e Obras Públicas do Estado de São Paulo. 1919, 76p. (Serviço de Publicações)

EGLI, D. B.; LEGGETT, J. E. Dry matter accumulation patterns in determinate and indeterminate soybeans. **Crop Science**, Madison, v.13, p.220-222, 1973.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977. 12 p.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; VOSS, M; AMBROSI, I. Rendimento e nodulação de soja em diferentes rotações de espécies anuais de inverno sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n.2, p.349-355, 2000

FRANÇA, M. **Análise de crescimento e do acúmulo de nitrogênio em duas cultivares de arroz contrastantes em hábito de crescimento**. 1995. 135p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

FRANCO, A. A.; FONSECA, O. O.; MARRIEL, L. Efeito do nitrogênio mineral na atividade da nitrogenase e nitrato redutase durante o ciclo da soja no campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, p.110-114, 1978.

FRANCO, A. A.; NEVES, M. C. P. Fatores limitantes à fixação biológica de nitrogênio. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ISAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Eds.) **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992. p.219-230.

HANWAY, J. J.; WEBER, C. R. Dry matter accumulation in eight soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) varieties. **Agronomy Journal**, Madison, v.63, p.227-230, 1971.

HENDERSON, J. B.; KAMPRATH, E. J. **Nutrient and dry matter accumulation by soybeans**. North Carolina Agricultural Experiment Station, North Carolina State University, 1970. 27p. (Technic Bulletin, 197).

IBARRA, T. L. Eficiência de absorção e utilização de N, P e K, em quatro variedades de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em solo de cerrado. **1990. 90p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.**

NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C.; HAAG, H. P.; NAGAI, V. Efeito da época de semeadura na duração dos períodos vegetativo e reprodutivo e na produção das cultivares de soja UFV-1 e IAC-7. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 3., 1984, Campinas. **Anais...** Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1984. p.33-44.

PADOVAN, M. P.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. de L. D.; NDIAYE, A. Avaliação de cultivares de soja, sob manejo orgânico, para fins de adubação verde e produção de grãos. **Pesquisa**

Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, n.12, p.1705-1710, 2002.

PEOPLES, M. B.; FAIZAH, A. W.; RERKASEM, B.; HERRIDGE, D. F. **Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field**. Canberra: ACIAR, 1989. 76p. (ACIAR Monograph, 11).

RESENDE, A. **A fixação biológica de nitrogênio (FBN) como suporte da produtividade e fertilidade nitrogenada dos solos na cultura da cana-de-açúcar: uso de adubos verdes**. 2000. 124p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

RIOS, G. P.; DOBEREINER, J. Efeito de variedades de soja (*Glycine max*) e do inoculante na fisiologia e nodulação em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.7, p. 123-127, 1972.

SCARANARI, H. J.; INFORZATO, R. Sistema radicular das principais leguminosas empregadas como adubo verde em cafezal. **Bragantia**, v.2, n. (7/9), p. 291-297, 1952.

SHEARER, G.; KOHL, D. H. N₂ fixation in field settings: estimations based on natural ¹⁵N abundance. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.13, p.699-756, 1986.

SILVA, F. C. da. **Manual de Análises químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

VARGAS, M. A. T.; PERES, J. R. R.; SUHET, A. R. Adubação nitrogenada, inoculação e épocas de calagem para a soja em um solo cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, p.1127-1132, 1982.

ZOTARELLI, L. **Balanco de nitrogênio na rotação de culturas em sistemas de plantio direto e convencional na região de Londrina-PR**. 2000. 133 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

ZOTARELLI, L.; TORRES, E.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R. Role of legumes in the N economy of cereal production in crop rotation under conventional and no-tillage. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17., 2002, Bangkok. **Proceedings**, 2002, CD Rom.