

JOSÉ ALUISIO DE ARAÚJO PAULA

**DESENVOLVIMENTO E VERIFICAÇÃO DE UM SISTEMA
COMPUTACIONAL PARA CÁLCULO DA
ADUBAÇÃO/FERTIRRIGAÇÃO DE MELÃO E MELANCIA**

MOSSORÓ

Março - 2007

JOSÉ ALUISIO DE ARAÚJO PAULA

**DESENVOLVIMENTO E VERIFICAÇÃO DE UM SISTEMA
COMPUTACIONAL PARA CÁLCULO DA
ADUBAÇÃO/FERTIRRIGAÇÃO DE MELÃO E MELANCIA**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como parte
das exigências para a obtenção do título de
mestre em Agronomia: Fitotecnia.

Orientador: Prof. D. Sc. JOSÉ FRANCISMAR DE MEDEIROS

MOSSORÓ

Março - 2007

**Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e
catalogação da Biblioteca “Orlando Teixeira” da UFRSA**

P324d	Paula, José Aluísio de Araújo. Desenvolvimento e verificação de sistema computacional para cálculo de adubação/ fertirrigação em melão e melancia / José Aluísio de Araújo Paula. - Mossoró: 2007. 86f.: il. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Área de Concentração: Produção vegetal Orientador: Profª. Dr. José Franscimar de Medeiros. Co-Orientador: Neyton de Oliveira Miranda 1. Fertilização - Métodos 2. Fertirrigação 3. <i>Cucumis melo</i> . 4. <i>Citrullus lanatus</i> . 5 . Sistema Computacional. I. Título. CDD:631.81
-------	---

Bibliotecária: Margareth M. Figueiredo Dias Furtado
CRB/-4/1446

JOSÉ ALUISIO DE ARAÚJO PAULA

**DESENVOLVIMENTO E VERIFICAÇÃO DE UM SISTEMA
COMPUTACIONAL PARA CÁLCULO DA
ADUBAÇÃO/FERTIRRIGAÇÃO DE MELÃO E MELANCIA**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
parte das exigências para a obtenção do
título de mestre em Agronomia:
Fitotecnia.

APROVADA EM: ____/____/____

Neyton de Oliveira Miranda – D.Sc

UFERSA
(Conselheiro)

Pahlevi Augusto de Souza – D.Sc

Bolcista Prodoc
(Conselheiro)

José Francismar de Medeiros – D.Sc

UFERSA
(Orientador)

“A meu pai Aluisio Paula (in memorian)”

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ele ser a fonte de inspiração de todas as coisas, e em especial, pela inspiração espiritual que deu origem a esse trabalho.

Alem “Dele”, a minha mãe, Francisca Francinete de Araújo Paula, e a minha esposa, Vera Rodrigues Paula, que dentro das suas possibilidades, me deram suporte moral e financeiro indispensáveis ao processo.

Aos meus irmãos, Gêminson, Júlia, Olívia e Ângelo, pelo incentivo, pelo apoio moral e torcida pelo sucesso do processo.

Ao Professor José Francismar de Medeiros pelas orientações e incentivo na execução desse trabalho.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido e ao curso de Fitotecnia pelas oportunidades oferecidas.

Ao CNPq e convênio FRUTERN – FINEP/ESAM/FGD por uso de equipamentos adquiridos com recursos destes órgãos de fomento.

Ao CNPQ, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores José Espínola Sobrinho, Neyton de Oliveira Miranda (Co-orientador), Francisco Bezerra Neto (Coordenador do CPPG), Maria Clarete Cardoso, Indalécio Dutra; Leilson da Costa Grangeiro, Glauber Henrique de Souza, e todos os que fazem o núcleo de Pós-graduação.

Aos colegas que auxiliaram na condução dos trabalhos de campo e laboratório, Francisco de A. de Oliveira (Thicão), Carlos J. G. de S. Lima, Mychelle K. T. de Oliveira, Maria José T. Câmara, Damiana C. de Medeiros, seu Elídio e Vladimir Batista Figueiredo.

Aos colegas de curso Ernildo, Romeu, Django, George, Milton, Renata, Marilene, Cinthia, Jailma, Luís Gonzaga, Elisângela, Socorro, Lindomar, Silvinha, Vânia, Renato, Márcio e todos demais pela amizade e apoio direto e indireto na realização desse trabalho, convívio e amizade durante a realização do curso.

RESUMO

PAULA, José Aluisio de Araújo. **Desenvolvimento e verificação de um sistema computacional para cálculo da adubação/fertirrigação de melão e melancia.** 2007 81f. Dissertação (Mestrado em agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, 2007.

O objetivo do trabalho foi desenvolver um sistema computacional para calcular níveis e parcelamento de nitrogênio, fósforo e potássio para a adubação de fundação e fertirrigação de melão e melancia e validá-lo com dados experimentais. Foi elaborado um sistema seguindo as metodologias utilizadas nos modelos do FERTICALC e de outros autores, utilizando-se os fatores de correção para uso dos nutrientes N, P e K, tanto para adubação de fundação (convencional) como em adubação via fertirrigação para determinar as doses dos nutrientes (N, P e K). Os totais exportados em N-P-K são relacionados à produtividade almejada, tanto para dados de produção total, quanto para dados de produção comercial, para os nutrientes de cada cultura estudada. Para avaliar a eficiência do sistema, assumiram-se dados médios comuns aos das áreas cultivadas com melão e melancia, além dos dados que correspondem aos das áreas dos experimentos com melão e com melancia. Adotou-se como produtividade almejada para melão e melancia, respectivamente, 36 e 28 Mg ha⁻¹. O trabalho em campo foi realizado na região produtora de melão e melancia localizada no Agropólo Assú/Mossoró. Para o experimento com melão, utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com três repetições e combinação da dose de N (42, 84 e 126 kg.ha⁻¹) e de K (106, 212 e 322 kg.ha⁻¹) sendo, N₂ e K₂ as doses intermediárias, mais três tratamentos adicionais (N₀K₀, N₀K₂ e N₂K₀) arranjados no esquema fatorial 3 x 3 + 3. Para o experimento com melancia adotou o mesmo delineamento experimental, com combinação de três doses de nitrogênio, N₁ (45 kg ha⁻¹), N₂ (91 kg ha⁻¹) e N₃ (136 kg ha⁻¹) e três doses de potássio, K₁ (78 kg ha⁻¹), K₂ (156 kg ha⁻¹) e K₃ (234 kg ha⁻¹), além de dois tratamentos adicionais: (N₀K₂ e N₂K₀), sendo N₂ e K₂ a dose recomendada para fertilização e N₀ e K₀ sem a aplicação N e K, respectivamente. Para medir a eficiência do sistema, foi utilizado o Índice de Concordância “d”. Os coeficientes de determinação (R²) das funções produtividade vs. exportação de nutrientes foram elevados, tanto para as curvas da melancia, quanto para as curvas do melão. A faixa de produtividade para os quais as funções médias produtividade vs. exportação de nutrientes, tanto para melão, quanto para a melancia abrangem todas as situações encontradas nas áreas produtoras da região. A aplicabilidade do software foi satisfatória, já que ele responde com eficiência as condições impostas no sistema para a definição das quantidades a serem aplicadas de N, P e K e a distribuição semanal/diária para os adubos. O melão e a melancia responderam as doses de N e K, obtendo-se produtividades máximas, respectivamente, para as doses máximas, de nitrogênio aplicado em fertirrigação, diferente do potássio que não afetou a produtividade da cultura, e doses de N e K aplicadas em fertirrigação. A aplicação do índice “d” revelou concordância elevada entre os valores obtidos em campo e os simulados pelo sistema, para a absorção total de nutrientes de N e K, tanto para melancia, quanto para o melão.

Palavras-chave: *Citrullus lanatus*, *Cucumis melo*, Sistema Computacional, Nutrientes.

ABSTRACT

PAULA, José Aluisio de Araújo. **Development and verification of a computational system for calculation of the melon and watermelon manuring/fertirrigation.** 2007 81f. Dissertação (Mestrado em agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, 2007.

The objective of the work was to develop a computational system to calculate levels and portioning out of nitrogen, phosphorus and potassium for the foundation manuring and fertirrigation of melon and watermelon and to validate it with experimental dates. A system was elaborated following the methodologies used in the models of FERTICALC and of other authors, being used the correction factors for use of the nutrients N, P and K, as in foundation manuring (conventional) as in manuring fertirrigation to determine the doses of the nutrients (N, P and K). The totals exported in N-P-K they are related to the longed productivity, so much for date of total production, as for date of commercial production, for the nutrients of each studied culture. To evaluate the system efficiency, it was assumed medium dates common to the cultivated areas with melon and watermelon, besides the date that correspond to the areas of the experiments with melon and with watermelon. It was adopted as productivity longed for melon and watermelon, respectively, 36 and 28 Mg ha⁻¹. The work in field was accomplished in the area producing of melon and watermelon located in Assú/Mossoró Agricultural pole. For the experiment with melon, it was used the scheming in casualizad blocks with three repetitions and combination of the dose of N (42, 84 and 126 kg.ha⁻¹) and of K (106, 212 and 322 kg.ha⁻¹) being, N₂ and K₂ the doses would intermediate, more three additional treatments (N₀K₀, N₀K₂ and N₂K₀) arranged in the factorial outline 3 x 3 + 3. For the experiment with watermelon adopted the same experimental scheming, with combination of three doses of nitrogen, N₁ (45 kg ha⁻¹), N₂ (91 kg ha⁻¹) and N₃ (136 kg ha⁻¹) and three potassium doses, K₁ (78 kg ha⁻¹), K₂ (156 kg ha⁻¹) and K₃ (234 kg ha⁻¹), besides two additional treatments: (N₀K₂ and N₂K₀), being N₂ and K₂ the dose recommended for fertilization and N₀ and K₀ without the application N and K, respectively. To measure the efficiency of the system, it was used the Agreement Index “d”. The coefficients of determination of the straight line (R²) of the functions productivity vs. export of nutrients was high, so much for the curves of the watermelon, as for the curves of the melon. The productivity zone for which the functions medium productivity vs. nutrients export, as for melon, as for watermelon they embrace all found situations in the producing areas. The applicability of the software was satisfactory, since it answers with efficiency the conditions imposed in system for they definition of the amounts applied of N, P and K and they distribution week/daily for the fertilizers. The melon and the watermelon answered the doses of N and K, it obtaining maximum productivity, respectively, for the maximum doses, of applied nitrogen in fertirrigação, different from the potassium that didn't affect the productivity of the culture, and doses of N and applied K in fertirrigation. The application of the index “d” it revealed high agreement among the values obtained in field and the simulate by the system, for the total absorption of nutrients of N and K, so much for watermelon, as for the melon.

Key-Words: *Citrullus lanatus*, *Cucumis melo*, Computational System, Nutritious.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. Aspectos gerais da produção de melão, melancia e as exportações do RN	17
a) Produção do melão	17
b) Produção da melancia	17
c) Exportações de melão e melancia pelo RN entre 2003 e 2006	19
2.2 Fertirrigação e aspectos nutricionais	19
2.3 Fertilidade do solo e fertilizantes N-P-K	22
2.4 Efeitos de fontes e doses N-P-K nas culturas estudadas	24
2.5 Características de qualidade em melão	27
2.6 Ferramentas disponíveis para auxiliar o manejo da adubação/fertirrigação	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Sistema Computacional	29
3.1.1 Adubação de fundação	29
a) Para Nitrogênio (N)	29
b) Para Fósforo (P)	31
c) Para Potássio (K)	32
c.1) Teor de K pela relação de 15:1 entre cálcio e potássio	33
c.2) Teor de K em 3% da CTC do solo	33
c.3) Quantificação de K para a exigência do solo	34
d) Quantificação dos valores dos nutrientes (N, P ou K) na adubação de fundação	35
d.1) Quantificação para N ou P	35
d.2) Quantificação para K	35
e) Transformação dos valores dos nutrientes P e K da análise de solo	36
3.1.2 Adubação de cobertura para os nutrientes N-P-K	36
a) Quantificação dos teores de N-P-K fornecidos em adubação de cobertura	36
a.1) Para a nutrição de N:	37
a.2) Para a nutrição de P:	37
a.3) Para a nutrição de K:	37
b) Condição imposta a nutrição da cultura em adubação de cobertura para corrigir valores obtidos em $STC(f) < 0$	38

c) Condição imposta a nutrição de K em adubações de fundação e de cobertura para corrigir quantidades elevadas de K na fertilidade do solo	38
3.1.3 Cálculo da necessidade total de nutrientes corrigido pelo fator de eficiência	39
a) Adubação de fundação total corrigida pelo fator de eficiência para cada nutriente	40
b) Adubação de cobertura total corrigida pelo fator de eficiência para cada nutriente	40
3.1.4. Seleção e quantificação dos fertilizantes	40
3.1.4.1 Declaração das variáveis	41
3.1.4.2 Cálculo dos adubos	42
3.1.4.3 Opções para controlar a fertirrigação	44
a) Ajustando o volume da solução estoque	44
b) Ajustando a vazão do injetor (q _{inj}):	44
c) Cálculo do kc(d) em função do dia (idade):	44
3.2 Desenvolvimento das funções que definem os nutrientes Totais Exportados pelas culturas para o sistema em função da produtividade	45
a) Transformação dos nutrientes de g planta ⁻¹ ou kg Mg ⁻¹ para kg ha ⁻¹	46
3.3 Exemplo de aplicação do sistema	47
3.4 Verificação e validação do sistema computacional	47
3.4.1 Área experimental	47
3.4.1.1 Unidade experimental e delineamento estatístico	49
3.4.1.2 Parâmetros avaliados e análises laboratoriais	50
3.4.2 Validação do sistema computacional	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1 Equações de calibração entre produtividade e quantidade do nutriente	53
4.1.1 Função de resposta média entre nutriente exportado e produtividade	53
4.1.2 Equações da marcha de absorção média obtida para a nutrição semanal/diária dos totais exportados	54
4.2 Resultados obtidos da aplicabilidade do sistema	54
4.3 Resultados obtidos nos experimentos de campo	55
4.4 Comparação dos valores estimados pelo sistema com os obtidos nos experimentos de campo para o total de N e K absorvidos pelo melão e melancia	62
5 CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	75
APÊNDICES	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores de correção para o nitrogênio, fósforo e potássio.....	40
Tabela 2 – Equações* das curvas de calibração dos Totais exportados X produtividade da melancia e do melão para o modelo de nutrição de N.	55
Tabela 3 – Equações* das curvas de calibração dos Totais exportados X produtividade da melancia e do melão para o modelo de nutrição de P.....	56
Tabela 4 – Equações* das curvas de calibração dos Totais exportados X produtividade da melancia e do melão para o modelo de nutrição de K.	56
Tabela 5 – Curvas de absorção média utilizadas no sistema para a adubação/fertirrigação das plantas.....	57
Tabela 6 – Resultados do sistema para recomendações da adubação de fundação e cobertura do melão para produtividade almejada de 36 Mg ha-1 e simulação dos exemplos de aplicação.....	58
Tabela 7 – Resultados do sistema para recomendações da adubação de fundação e cobertura da melancia para produtividade almejada de 28 Mg ha-1 e simulação dos exemplos de aplicação.....	59
Tabela 8 – Distribuição ao longo do tempo das quantidades de fertilizantes a serem aplicados no melão e na melancia.....	60
Tabela 9 Valores médios do experimento 1 (Melão Gália) ajustados para produtividade, peso médio do fruto e número de fruto por planta, em função de doses de potássio (K ₂ O) e nitrogênio (N).....	61
Tabela 10 – Curva de Acúmulo de nutrientes obtida no experimento de Bom Jesus para o melão Gália.	61

Tabela 11 – Valores médios e modelos ajustados para o teor de sólidos solúveis totais na colheita (BRIX1), teor de sólidos solúveis totais pós-câmara fria (BRIX2), firmeza pós-câmara fria e perda de peso, em função de doses de potássio (K₂O) e nitrogênio (N), via fertirrigação. 63

Tabela 12 – Curva de Acúmulo de nutrientes obtidos no experimento da Horta da UFERSA para a melancia Mickylee. 63

Tabela 13 – Valores do Índice de concordância de Willmott et al. (1995) determinados para as curvas médias que relacionam as quantidades exportadas dos nutrientes X produtividade N e K e seus respectivos coeficientes de determinação (R²). 64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dados de temperatura, em °C, e umidade relativa do ar, em %, (A) e de velocidade do vento a 10m de altura, em m s^{-1} , e evapotranspiração das culturas, em mm dia^{-1} , (B) referentes ao período de condução dos experimentos, obtidos na estação meteorológica do Departamento de Ciências Ambientais da UFERSA.

LISTA DE SÍMBOLOS

- $A \rightarrow$ teor do nutriente ou de íons na água de irrigação ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$);
- $\text{Ca:K}_{\text{SOLO}} \rightarrow$ é a relação Ca:K exigida no solo, adotada no programa o valor 15.
- $\text{CTC} \rightarrow$ capacidade de troca de cátions do solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$);
- $d \rightarrow$ densidade do solo;
- E_{el} – espaçamento entre linhas usado para a cultura dimensionada no sistema (m);
- E_{epls} – espaçamento entre plantas nas linhas para a cultura dimensionada no sistema (m);
- $fc_{\text{óxido}}(f) \rightarrow$ fator de correção usado para transformar os elementos nos seus respectivos óxidos (P_2O_5 e K_2O), o programa adota o valor 2,29 quando o nutriente for P ou 1,2 quando o nutriente for K.
- $fc_{\text{Conv}}(f)$ – fator de correção para adubação convencional para N (fe_{FN}), P (fe_{FP}) e K (fe_{FK}).
- $Fe_{\text{F}}(f) \rightarrow$ é o fator de correção para adubação com fertirrigação para N (fe_{FN}), P (fe_{FP}) e K (fe_{FK}).
- $\text{FM} \rightarrow$ fator de molhamento, que corresponde a fração de solo umedecida pelo sistema de irrigação (%);
- $G_{\text{K}} \rightarrow$ percentual do total exportado de K pela cultura a aplicar em adubação de fundação, conforme metodologia selecionada (%);
- $G_{\text{KCTC}} \rightarrow$ percentagem de K na CTC para satisfazer as necessidades da planta, adotado no programa o valor de 3%.
- $G_{\text{N}} \rightarrow$ percentual do total exportado de N pela cultura selecionada a aplicar em adubação de fundação, conforme metodologia selecionada (%);
- $G_{\text{P}} \rightarrow$ percentual do total exportado de P pela cultura a aplicar em adubação de fundação, conforme metodologia selecionada (%);
- $k \rightarrow$ taxa de decomposição da matéria orgânica (dia^{-1});
- $K_{\text{Ca:K}} \rightarrow$ teor de potássio que o solo deve ter para satisfazer as necessidades da planta segundo a relação cálcio (Ca) e potássio (K) exigida ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$);
- $K_{\text{CTC}} \rightarrow$ teor de potássio que o solo deve ter para satisfazer as necessidades da planta segundo a relação K:CTC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$);
- $K_{\text{max}} \rightarrow$ valor máximo de K exigido, segundo os três critérios adotados de maior demanda dentre os parâmetros testados para K ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$);
- $K_{\text{Total exportado}} \rightarrow$ total exportado de K pela cultura, em todo seu ciclo, para a produtividade almejada (kg ha^{-1});

$L \rightarrow$ lâmina de água aplicada (mm);

$m_{\text{nut}}(f) \rightarrow$ massa atômica do nutriente (P ou K);

$N_O \rightarrow$ teor de nitrogênio potencialmente mineralizado (mg kg^{-1});

$N_t \rightarrow$ quantidade de nitrogênio mineralizado no tempo t (mg kg^{-1});

$N_{\text{Total exportado}} \rightarrow$ valor total exportado de N pela cultura selecionada, em todo seu ciclo, para a produtividade almejada (kg ha^{-1});

$\text{nut}_{\text{exigência solo}}(f) \rightarrow$ valor do nutriente K ou P exigido no solo (K_{max} ou $P_{\text{exigência solo}}$) para a cultura ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$);

$\text{Nut}_{\text{Total exportado}}(f) \rightarrow$ quantidade líquida a exportar do nutriente ($N_{\text{Total exportado}}$ para N, $P_{\text{Total exportado}}$ para P ou $K_{\text{Total exportado}}$ para K) para uma produtividade almejada adotada no sistema (kg ha^{-1});

$PA \rightarrow$ peso atômico de cada elemento ou íon contido na água;

$P_{\text{produt.}}$ $\rightarrow$ valor da produtividade existente no banco de dados do programa para a curva de absorção do melão (Mg ha^{-1});

$P_{\text{produt.adotado}} \rightarrow$ valor da produtividade adotada para o dimensionamento do programa de adubação (Mg ha^{-1});

$P_{\text{Total exportado}} \rightarrow$ valor do total nutrientes de P exportado pela cultura, em todo seu ciclo, para a produtividade almejada (kg ha^{-1});

$Q_{\text{adubo}} \rightarrow$ quantidade de nutrientes N – P – K baseada na curva média para se atingir essa produtividade (kg ha^{-1});

$\Theta_A \rightarrow$ umidade atual do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

$Q_{\text{as}}(f) \rightarrow$ quantidade do nutriente (N ou P) no volume de solo explorado pela cultura numa área de um hectare (kg ha^{-1});

$\Theta_{\text{CC}} \rightarrow$ capacidade de campo do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

$Q_{\text{Cg}}(f) \rightarrow$ quantidade líquida a exportar do nutriente (N_{Cg} para N, P_{Cg} para P ou K_{Cg} para K) obtida pela curva produtividade X quantidade do nutriente (g planta^{-1}) para uma produtividade almejada adotada no sistema (g planta^{-1});

$Q_{\text{Ckg}}(f) \rightarrow$ quantidade líquida a exportar do nutriente (N_{Ckg} para N, P_{Ckg} para P ou K_{Ckg} para K) obtida pela curva produtividade X quantidade do nutriente (kg Mg^{-1}) para cada unidade de rendimento almejado adotada no sistema (kg Mg^{-1});

$Q_{\text{excesso}}(f) \rightarrow$ quantidade líquida do nutriente (N, P ou K) que está em excesso no solo (kg ha^{-1}),

$Q_{\text{exp}}(f) \rightarrow$ quantidade total de nutriente de N ($N_{\text{Total exportado}}$), P ($P_{\text{Total exportado}}$) e K ($K_{\text{Total exportado}}$) exportado pela cultura (kg ha^{-1});

$Q_{k_{Metod}}$ → quantidade de K a aplicar em fundação levando em consideração apenas a recomendação selecionada dentre as disponíveis no programa para a nutrição de K ($kg\ ha^{-1}$);

$Q_{k_{solo}}$ → quantidade mínima de potássio que deve conter no solo para não restrições de fertilidade para a cultura selecionada ($kg\ ha^{-1}$);

$Q_{Md(f)}$ – quantidade total dos nutrientes P e K disponíveis no solo ($kg\ ha^{-1}$);

Q_{NM} → quantidade de nitrogênio mineralizado ($kg\ ha^{-1}$);

$Q_{n_{Metod}}$ → quantidade de N a aplicar em fundação levando em consideração apenas a recomendação selecionada, dentre as disponíveis no programa para a nutrição de N ($kg\ ha^{-1}$);

$Q_{nut(f)}$ → quantidade do nutriente (P ou K) disponível no solo ($kg\ ha^{-1}$);

$Q_{p_{Metod}}$ → quantidade de P a aplicar em fundação levando em consideração apenas a recomendação selecionada, dentre as disponíveis no programa para a nutrição de P ($kg\ ha^{-1}$);

$R_{almejado}$ → produtividade almejada no dimensionamento do sistema ($Mg\ ha^{-1}$).

$ST_{CFert(f)}$ → subtotal de adubo adotado em cobertura para N ($ST_{CFert}N$), P ($ST_{CFert}P$) e K ($ST_{CFert}K$) corrigido para a adubação convencional ($kg\ ha^{-1}$);

$ST_{FC(f)}$ → subtotal de adubo adotado em fundação para N ($ST_{FC}N$), P ($ST_{FC}P$) e K ($ST_{FC}K$) corrigido para a adubação convencional ($kg\ ha^{-1}$);

T → temperatura do solo (K);

t → tempo necessário para que o nitrogênio contido na matéria orgânica do solo se mineralize (dias);

$tas = task$ → valor dos teores de K apresentados na análise de solo ($cmol_c\ kg^{-1}$);

$Tas(f)$ → teor do nutriente (N, P ou K) no solo (ppm);

tkH_2O → quantidade aplicada do nutriente ou íon via água de irrigação ($kg\ ha^{-1}$);

Tp_{solo} → teor de P que deve conter o solo, segundo recomendação de Papadopoulos (1999), para manter o nível de segurança desse nutriente no referido solo ($kg\ ha^{-1}$);

V_{solo} → volume de solo explorado pelo sistema radicular da cultura numa área de um hectare ($m^3\ ha^{-1}$);

X_{adubo} → quantidade de nutrientes N – P – K que se quer determinar para se chegar a produtividade adotada no programa ($kg\ ha^{-1}$);

Zef → profundidade efetiva da zona radicular para a cultura selecionada, onde a maior parte dos nutrientes podem ser absorvidos (m);

ΔK → diferença entre teor de K exigência do solo e na análise ($cmol_c\ dm^{-3}$).

DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR

JOSÉ ALUISIO DE ARAÚJO PAULA, filho de Aluisio Paula e Francisca Francinete de Araújo Paula, nasceu no dia 18 de agosto de 1967, em Mossoró/RN. Iniciou seus estudos em 1971, no Colégio Diocesano Santa Luzia, Mossoró/RN, e lá permaneceu até a conclusão 1º grau, ocorrida em 1981. Em 1982, iniciou o 2º grau no Colégio Imaculada Conceição, Natal/RN, permanecendo lá até a conclusão do 2º ano do 2º grau, ocorrida em 1983. Concluiu o 2º grau no Colégio Marista São José, Natal/RN, no ano de 1984. Em 1985, Ingressou no curso de Engenharia Mecânica, pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal/RN, cursando-o até junho de 1989. Em janeiro de 1990, ingressou, através de concurso vestibular, no curso de Agronomia pela Escola Superior de Agronomia de Mossoró – ESAM, Mossoró/RN, graduando-se em 1998. Em 2001, ingressou no curso de Especialização em Irrigação e Drenagem, concluindo-o em 2002. Em 2003, ingressou no curso de atualização em Manejo de Irrigação Localizada e Fertirrigação, concluindo-o no final de 2003. Na empresa agrícola Paulicéia Empreendimentos Ltda., desenvolveu as seguintes funções: No Período de agosto de 1988 a julho de 1998, trabalhou no seu setor Administrativo; No Período de julho de 1998 a fevereiro de 2005, ocupou a função de diretor técnico da mesma empresa; Do Período de julho de 1994 ate os dias atuais, Participa do seu quadro de sócios. Em 2005 ingressou no mestrado de Agronomia: Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Mossoró/RN.

1 INTRODUÇÃO

A irrigação é uma técnica muito usada nas regiões com regimes de precipitações irregulares. Seu uso é extremamente necessário nestas condições para ter sucesso na produção, sendo ainda associado a essa técnica, a fertirrigação, que consiste na aplicação de fertilizantes dissolvidos na água de irrigação, de forma contínua ou intermitente. A fertirrigação não pode ser utilizada em todos os tipos de irrigação, já que a principal exigência é obter máxima uniformidade de distribuição dos fertilizantes, por isso, a prática da fertirrigação está associada principalmente ao sistema de irrigação localizada, podendo ser utilizado ainda, no sistema de irrigação por aspersão.

A fertirrigação tem se tornado uma das ferramentas mais importantes no sistema produtivo das culturas irrigadas, por ser mais adequada às plantas, ao solo e inclusive economicamente. Apesar dos adubos solúveis serem mais caros, a quantidade de fertilizantes por este processo chega ser reduzida quando comparado à aplicação convencional. A aplicação de adubos via a água de irrigação abre novas possibilidades para um melhor controle da água, ao mesmo tempo suprimindo as necessidades nutricionais das culturas, mantendo a concentração e distribuição de íons e água no solo.

A fertirrigação é uma técnica bastante precisa, por isso, distancia seu uso correto dos produtores menos tecnificados. Conhecimentos como de química e física são fundamentais para o entendimento e realização de um correto manejo.

A quantidade de fertilizante a ser aplicada é função do conhecimento das exigências nutricionais da cultura, da capacidade de fornecimento de nutrientes pelo solo, da eficiência da absorção de nutriente e do rendimento esperado. As exigências nutricionais das culturas dependem de vários fatores, dentre eles a variedade utilizada, condições de luz e umidade e tipo de solo. Assim, para se referir às necessidades nutricionais das culturas seria necessário dispor de dados ajustados para as condições locais de plantio, visando determinar a adubação necessária para se obter certa produtividade.

Associado aos ajustes acima mencionados, tem-se observado ainda que a fertirrigação é mais eficiente quando a fertilidade do solo é inicialmente corrigida. Essa correção vai desde uma simples adequação da acidez até o ajuste dos níveis dos nutrientes do solo para valores considerados adequados ao bom desenvolvimento da cultura explorada.

Outro dado importante é conhecer a absorção dos nutrientes nas fases fenológicas da cultura, pois assim pode-se adequar o parcelamento correto das adubações buscando às exigências nutricionais da cultura em cada fase. No caso das culturas anuais, nitrogênio, fósforo, enxofre, zinco e boro, são exigidos em maiores quantidades até o florescimento enquanto que o potássio é mais necessário durante a maturação dos frutos. Com isso, é desejável ter acesso a um sistema que proceda aos cálculos e defina as doses diárias e selecione os respectivos fertilizantes é de grande importância. Além disso, os agricultores, de um modo geral, já entenderam que a fertirrigação é uma realidade capaz de trazer resultados produtivos muito expressivos, no entanto, mesmo sem os conhecimentos básicos necessários realizam a técnica mediante apenas observações e não através de base científica, obtido por realizações de cálculos precisos e rápidos extremamente indispensáveis para o sucesso produtivo. Esse motivo acaba limitando todos aqueles menos tecnicizados e como consequência, não conseguem desfrutar de todo o potencial da técnica da fertirrigação.

As quantidades de nutrientes requeridas pelas culturas podem ser estimadas por diferentes métodos recomendados por Montag (1999), Papadopoulos (1999) e usando uma extensão para outros nutrientes baseados no FERTCALC (NOVAIS & SMYTH, 1999).

A aplicação excessiva de nutrientes às plantas, pode causar-lhes queda de produtividade e de qualidade de seus produtos, podendo-se observar inclusive, manchas em frutos ou em folhagens e com isso, prejudicar sua comercialização e como consequência, ter redução no seu preço final.

As culturas de melão e melancia no estado do Rio grande do Norte, segundo dados de órgãos oficiais, são as culturas mais importantes na pauta de exportações do Estado, sendo cultivados quase na totalidade das áreas sob irrigação e na maioria dos casos fertirrigadas, dada as condições de clima e solo locais.

O objetivo do trabalho foi desenvolver um sistema computacional para calcular níveis e parcelamento de nitrogênio, fósforo e potássio para a adubação de fundação e fertirrigação de melão e melancia e valida-lo com dados experimentais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais da produção de melão, melancia e as exportações do RN

a) Produção do melão

O melão atualmente é cultivado em 72 países (PIMENTEL et al., 2000), tendo ocupado em 2004, uma área aproximada de 1,15 milhões de hectares e uma produção de 21,7 milhões de toneladas (FAO, 2006). A China é o principal produtor, sendo responsável por 39%, seguida pela Turquia com 9%, pelos Estados Unidos com 6% e pelo Irã com 5% da oferta mundial. O Brasil é o 6º produtor mundial (FAO, 2006).

A produção brasileira dessa hortaliça concentra-se no Nordeste, respondendo por 99% do total. A sua produção ocorre principalmente nos Estados do Rio Grande do Norte (56,7%), Ceará (35,5%), Bahia e Pernambuco (7,1%) (PIMENTEL et al., 2000). No Brasil, segundo dados da EMBRAPA (2005a) em estudo feito entre os anos de 1980 à 2004, a área cultivada vem aumentando, com o maior incremento nos anos 80 e variações na década passada (13.855 ha em 1998, 10.800 ha em 2000 e 13.800 ha em 2001). Entretanto, a produção aumentou ininterruptamente desde 1990 salientando-se os anos de 1998, com 177.768 t e 2001 com 282.000 t (EMBRAPA, 2005b). Esse sucesso é decorrente da produtividade que aumentou de 12,8 t ha⁻¹ em 1998 para 20,4 t ha⁻¹ em 2001 (LOPES et al., 2003; EMBRAPA, 2005c). Esses valores refletem o aperfeiçoamento do sistema produtivo, apesar da existência de problemas. No entanto, os principais produtores (Estados Unidos, Espanha, Romênia e Itália) obtêm produtividade superior a 20 t ha⁻¹. Comparado à estes, o Brasil produz apenas 12,40 toneladas por hectare (FAO, 2006), demonstrando que os produtores brasileiros, na sua maioria, não estão utilizando, de modo adequado, as tecnologias atualmente disponíveis. No entanto, em algumas regiões do país onde se utiliza um alto nível tecnológico, a produtividade por hectare atinge valores superiores a 30 t ha⁻¹ (LOPES et al., 2003).

Com relação à produção de melão do agropolo Assú/Mossoró (RN), calcula-se que 165,17 mil toneladas foram produzidas em 2005 e cerca de 80% dessa produção foi destinada à exportação (COEX, 2006), grande parte destinando-se à Europa (COEX, 2006), e uma parcela sendo destinada ao mercado Norte-americano (USDA, 2006).

b) Produção da melancia

Existem poucas informações estatísticas sobre a cultura da melancia, segundo Fernandes & Prado (2003), entretanto, a FAO (2006), cita a China como seu principal produtor, com uma área total plantada em 2004, de 2.015.500 ha e uma produção de 63.300.000 t, participando com 86% da produção mundial, seguida da Turquia com área de 160.000 ha, Irã com área de 100.000 ha e E.U.A. com 57.140 ha.

No Brasil, segundo EMBRAPA (2005a, b e c) no período de 1980-1989, dados estimados para área média colhida foi de 74,1 mil ha, a produção média foi de 361,59 mil t ano⁻¹ de frutos e a produtividade média foi de 7,91 t ha⁻¹. Já no período de 1990-1999 para os mesmos índices, obteve-se área média de 74,04 mil ha, a produção média foi de 539,77 mil t ano⁻¹ e produtividade média de 7,23 t ha⁻¹. E, finalmente, entre 2000-2004, obteve-se área média de 76,24 mil ha, a produção média de 628,07 mil t ano⁻¹ e produtividade média de 8,24 t ha⁻¹.

O Brasil, que em 2004 ocupou o sétimo lugar no “ranking” mundial (FAO, 2006), possui cerca de 65% de sua produção distribuída entre as regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, dos quais se destacam os estados do Rio Grande do Sul com 23,60% da produção Nacional, Bahia com 14,70%, São Paulo com 12,10% e Goiás com 12,00% (IBGE, 2006).

No Nordeste brasileiro, além dos Estados citados, a região do Agropolo Assú/Mossoró, no Rio Grande do Norte, que está a oeste do Estado, na divisa com o Ceará e compreende os municípios potiguares de Mossoró, Açu, Baraúna, Carnaubais, Upanema, Ipanguaçu, Alto do Rodrigues, Afonso Bezerra, Pendências, Serra do Mel e Itajá, tem-se destacado pela sua crescente produção nessa cultura hortícola (NEVES, 2006).

Com relação à produção da melancia do agropólo Assú/Mossoró (RN), calcula-se que de um total de 19,44 mil toneladas para melancia produzidas em 2005, cerca de 80% são destinadas à exportação (COEX, 2006). Segundo o mesmo órgão, o destino das exportações segue caminho semelhante ao do melão.

Os índices citados por alguns autores e organismos oficiais nacionais e internacionais demonstram que, em média, a produtividade em melancia alcançada pelo Brasil não ultrapassa a 40% da produtividade média obtida pelos sete primeiros lugares da produção dessa cultura no mundo (EMBRAPA, 2005c; FAO, 2006; PIMENTEL et al., 2000; USDA, 2006), demonstrando que os produtores brasileiros, na sua maioria, não estão utilizando de modo adequado as tecnologias atualmente disponíveis. No entanto, semelhante ao que acontece com a cultura do melão, em algumas regiões do país onde se utiliza um alto nível

tecnológico, a produtividade atinge valores superiores a 30 t ha⁻¹. Como exemplo pode-se citar os valores de produtividades apresentado por Resende & Costa (2003) e Granjeiro & Cecílio Filho (2004). Desta forma, considerando-se a tecnologia atualmente disponível para a produção de melancia, observa-se que a produção mundial poderia aumentar razoavelmente, sem a necessidade de expansão da área plantada (PIMENTEL et al., 2000).

c) Exportações de melão e melancia pelo RN entre 2003 e 2006

Segundo dados da FIERN (2006a, b), estimados com índices da COEX (2006), as exportações do agropolo Assú/Mossoró (RN) para essas hortaliças tiveram um crescimento médio anual em cerca de 7% nos últimos três anos, passando de 128,3 mil toneladas em 2003 para 147,7 mil toneladas em 2005, correspondendo a US\$ 72,23 milhões.

Dados de órgãos oficiais estimam que do total exportado no agropolo Assú/Mossoró (RN), cerca de 83% da produção dessas hortaliças são escoadas pelo porto de Natal-RN e 17% pelo porto do Pecém-CE (COEX, 2006). A quantidade dessas hortaliças que foi escoado pelo porto de Natal representou, para a balança comercial das exportações de frutas do RN, cerca de 60% das exportações de frutas frescas em 2005 (FIERN, 2006b).

2.2 Fertirrigação e aspectos nutricionais

As hortaliças, em sua maioria, necessitam de grandes quantidades de nutrientes dentro de períodos de tempo relativamente curtos, sendo, por isso, exigentes do ponto vista nutricional. Por outro lado, principalmente as espécies folhosas e tuberosas, deixam poucos restos culturais no solo, sendo consideradas altamente esgotantes. Por essas razões, o conhecimento do balanço de nutrientes em cultivo de hortaliças é essencial para se manejar a adubação ao longo dos anos, indicar as culturas a serem utilizadas em rotação e otimizar o aporte de insumos (COUTINHO et al., 1993). Isso coincide com as afirmações de Jorge (1968) que em experiências de fertilização total de culturas realizadas em várias regiões do país demonstrou que as adubações completas devem incluir, em média geral, os elementos N-P-K na proporção de 1:3:1, respectivamente. Já Nascimento & Loureiro, (2004), para a proporção dos mesmos elementos, recomendam 1:1,5:1,7.

Alguns autores apontam que as principais vantagens da fertirrigação estão relacionadas à redução da flutuação da concentração de nutrientes no solo, isso devido principalmente a flexibilidade dos nutrientes e água de irrigação. Já outros notaram que ao

trabalharem com a fertirrigação por gotejamento, o nitrogênio acumulado aumentava linearmente com o crescimento e absorção de nitrogênio pela planta e preconizam a utilização desta informação para o uso eficiente do fertilizante (VIVANCOS, 1996; MONTAG, 1999).

Fayad et al. (2001), estudando a absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido, observaram que o padrão de absorção de nutrientes seguiu o acúmulo de matéria seca pelas plantas. Verificaram ainda que na absorção dos elementos essenciais no experimento de campo, a ordem decrescente de acúmulo de nutrientes na parte aérea foi K, N, Ca, S, P, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn, enquanto que em ambiente protegido, o acúmulo de nutrientes na parte aérea do tomateiro decresceu na seguinte ordem K, N, Ca, S, Mg, P, Mn, Fe; Cu e Zn.

Novais & Smyth (1999), desenvolveram o FERTICALC para calcular a quantidade de fertilizante a ser aplicado em cultivos agrícolas com a finalidade de obtenção de uma determinada produtividade. Segundo os autores, essa metodologia foi primeiramente desenvolvida para a adubação fosfatada e está sendo estudada para outros nutrientes. O sistema consiste em calcular a quantidade de fertilizante a ser aplicada de acordo com algumas características do solo e da cultura; o fator capacidade, que é a resistência do solo a mudanças no fator intensidade (I) quando se põe ou se retira o nutriente do solo (Q), e também o nível crítico para o nutriente na parte aérea e nos frutos da cultura. Para Oliveira (2002), o fator intensidade (I) é o fator que transforma o total exportado em quantidades de adubos restabelecendo os níveis de segurança ao solo.

O estudo de recomendações de adubações na bananeira revelaram que as doses de nutrientes a serem recomendadas pelo FERTICALC®-Bananeira aumentam continuamente com o aumento da produtividade esperada e com a diminuição dos teores desses nutrientes no solo, sendo maiores no primeiro ciclo e menores a partir do segundo ciclo, e ainda que considerando a lógica envolvida em sua constituição e as variáveis utilizadas na modelagem do FERTICALC®-Bananeira, este sistema constitui importante alternativa para recomendação de adubação para essa cultura (OLIVEIRA et al., 2005).

Montag (1999) propôs uma metodologia para as condições de Israel, em que considerou como parâmetros para operacionalizar os cálculos, as condições do solo, a densidade de plantio, as exigências nutricionais para a produtividade desejada, os fatores de correção ou de eficiência para os nutrientes, o volume de solo explorado pelo sistema radicular que é molhado pelo sistema de irrigação, a capacidade tampão do solo, sendo mais adequado para solos mais arenosos, e considera como exata a quantidade dos nutrientes obtida pelo extrator químico.

Já Papadopoulos (1999), em sua metodologia, correlaciona parâmetros para o dimensionamento da adubação, nos quais uma faixa de teores N-P-K, por exemplo, são necessárias para se atingir uma determinada faixa de produtividade, em uma determinada densidade de plantas, levando-se em consideração ainda, o volume de solo explorado pelo sistema radicular das culturas que se encontra molhado pelo sistema de irrigação, não considerando o fator capacidade do solo e assumindo como absoluto a quantidade dos nutrientes extraída pelos extratores químicos.

As exigências nutricionais das culturas dependem de vários fatores, dentre eles da variedade utilizada, condições de luz e umidade e do tipo de solo. Assim, para se referir às necessidades nutricionais das culturas seria necessário dispor de dados ajustados para as condições locais de plantio, para determinar a adubação necessária para obter certa produtividade (VIVANCOS, 1996; CECÍLIO FILHO & GRANGEIRO, 2004a).

Frizzone et al. (2005), no estudo do cultivo do meloeiro em ambiente protegido, ressaltam a necessidade do uso de tecnologias que possibilitem a obtenção de altas produtividades, economicamente viáveis, e que atendam aos padrões exigidos pelo mercado para amenizar o efeito de fatores limitantes ao desenvolvimento das culturas e atender aos conceitos de produtividade e de qualidade, elementos decisivos para a produção agrícola contemporânea.

Crisóstomo et al. (2002) recomendam, para a cultura do melão, a seguinte distribuição dos nutrientes N – P₂O₅ – K₂O, respectivamente, em adubação de fundação: 10 % – 80 % – 10 % e em cobertura: 90 % – 20 % – 90 %. Já Montag (1999), recomenda em fundação (15 % a 25 %) – 100 % – (20 % a 30 %) e na adubação de cobertura (85 % a 75 %) – 0 % – (80 % a 70 %). Novais & Smyth (1999), semelhante ao que postula Papadopoulos (1999), recomendam, também para os mesmos nutrientes em fundação (35 % a 50 %) – 100 % – (60 % a 100 %) e em cobertura (65 % a 50 %) – 0 % – (40 % a 0 %).

Diversos autores, entre eles, Feigin et al. (1982) salientam que o parcelamento de nutrientes, principalmente o nitrogênio, permite a redução das perdas dos nutrientes por lixiviação. Gärdenäs et al. (2005) acrescentam que, além disso, a distribuição do nitrogênio é mais uniforme no perfil do solo quando utilizaram fertirrigação por gotejamento, e consequentemente, uma melhor distribuição de nutriente ocorre por todo o bulbo úmido e zona radicular, porém com uma leve concentração ao redor da frente de molhamento. Segundo Pinto et al. (1992), na cultura do melão fertirrigada por gotejamento, o parcelamento da adubação nitrogenada em doses diárias favorece a obtenção de melhores frutos.

A fertirrigação por ser de uso recente, requer a determinação das dosagens adequadas de nutrientes a serem aplicadas às culturas (PINTO et al., 1995). Alguns autores recomendam que para que as adubações N – P – K atinjam a máxima eficiência no processo de absorção desses nutrientes pela planta, é preciso que os totais exportados pela planta sejam corrigidos por fatores sugeridos, respectivamente, para esses nutrientes na adubação convencional (1,2 a 1,5) – (1,9 a 2,2) – (1,4 a 1,6) e na adubação por fertirrigação (1,1 a 1,2) – (1,6 a 1,9) – (1,2 a 1,4) (MONTAG, 1999).

2.3 Fertilidade do solo e fertilizantes N-P-K

A matéria orgânica contém, geralmente, 95% ou mais de nitrogênio, e 20 a 75% de fósforo que estão na superfície do solo. Valores médios para o carbono total (C_{total}), nitrogênio total (N_{total}) na superfície do solo são razoavelmente constantes dependendo dos tipos de solo e clima, entretanto mudanças têm sido observadas com relação ao solo cultivado e virgem (LISBOA et al., 2002). Segundo Lopes et al. (2003) preconizam que a matéria orgânica do solo é constituída por 5% de N e a relação C:N em solo é constante, em torno de 10:1.

Os fertilizantes nitrogenados orgânicos são provenientes da mineralização dos resíduos vegetais e animais (MESSIAS et al., 1998), através da ação efetiva da microbiota do solo. Os principais adubos orgânicos são: esterco equino (1,44%N), esterco bovino (1,67%N), esterco suíno (1,86%N), esterco de galinha (2,76%N), torta de amendoim (7,65%N), torta de coco (4,37%N), torta de soja (6,56%N), torta de usina de cana-de-açúcar (2,19%N), cascas de castanha de caju (0,74%N), borra de café (2,30%N), sangue seco (11,80%N), entre outros. Já os fertilizantes químicos nitrogenados são subdivididos em quatro grupos: os amoniacais como a amônia anidra (82% N); os nítricos como nitrato de cálcio (16% N); os nitratos-amoniacais como nitrato de amônia (32% N) e os amídicos como uréia (44% N). Os fertilizantes nitrogenados possuem alta mobilidade no solo.

As fontes de fósforo são originadas de rochas fosfatadas, conhecidas como “fosfatos naturais”, que são encontradas na forma de compostos de ferro, alumínio e de cálcio, e possuem um teor considerável de fósforo total (24 a 27% de P_2O_5 total). Porém, através de misturas estequiométricas são obtidas as fontes industrializadas como o superfosfato simples (18% de P_2O_5), superfosfato triplo (41% de P_2O_5), Escória de Thomas (17% de P_2O_5), Termofosfato (17% de P_2O_5), Fosfato monoamônico – MAP (48% de P_2O_5), Fosfato diamônico – DAP (45% de P_2O_5), Fosfato parcialmente acidulado (20% de P_2O_5), Farinha de ossos autoclavados (20% de P_2O_5) e etc. (MESSIAS et al., 1998).

A incorporação de matéria orgânica (MO) no solo, que é capaz de rapidamente adsorver fósforo aplicado (P) na forma de fertilizante, aumenta a disponibilidade de P (GUPPY et al., 2005). Os mesmos autores afirmam, que este efeito tem sido comumente designado como competição entre os produtos de decomposição de MO e adsorção local de P pelo solo, resultando em solução de solo com elevadas concentrações de P. Em estudos com objetivos semelhantes, Andrade et al. (2003) concluíram que em Latossolo Vermelho textura muito argilosa (LV), a aplicação de fosfato e ácidos orgânicos ou ácidos húmicos juntos (FJA) causou a maior redução na relação adsorção/precipitação de fósforo (A/PP), indicando que deve ter ocorrido a ligação entre o fosfato e os ácidos, e que no Latossolo Vermelho-Amarelo textura franco-argilo-arenosa (LVA), a aplicação de fosfato depois dos ácidos orgânicos ou ácidos húmicos (FDA) causou a maior redução na A/PP, indicando ter ocorrido bloqueio dos sítios de adsorção pelos ácidos.

Em estudo recente em um Neossolo Regolítico Psamítico Típico, na Paraíba, para a obtenção da dosagem de P_2O_5 , com as quais obtiveram-se a máxima produção e retorno econômico quanto a produção de vagem para feijão-vagem, se correlacionam, respectivamente, com 54 e 51 $mg\ dm^{-3}$ de P disponível no solo, obtido pelo extrator de Mehlich 1 (OLIVEIRA et al., 2005). O mesmo estudo relatou ainda que a probabilidade para ocorrência de resposta do feijão-vagem à adubação fosfatada em solos semelhantes ao do presente estudo será minimizada quando o teor de P disponível for superior a 51 $mg\ dm^{-3}$. Verificou-se ainda função linear decrescente para o teor de fibra, com redução de 0,0004% de fibra para cada kg de P_2O_5 aplicado, com valor máximo (1,1%) e mínimo (0,94%) nas doses zero e 400 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , respectivamente, e para o solo em estudo a dose de 231 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , deve ser recomendada para a fertilização do feijão-vagem.

Jorge (1968) salientou que embora o fósforo seja o nutriente absorvido em menores quantidades em relação aos outros dois macronutrientes, os nossos solos têm uma capacidade de fixação muito grande para esse mineral, de modo a diminuir sua disponibilidade para as plantas. Raij (1991), em concordância com Jorge (1968), acrescenta ainda que o fósforo tem tendência a formar compostos de solubilidade muito baixa com ferro, alumínio e cálcio, e que a reação desses elementos, tão abundantes em solos, com o fósforo pode-se dar na solução do solo, com formação de precipitados, ou pode ocorrer na superfície das partículas sólidas de argila, óxidos de ferro e alumínio, ou de carbonato de cálcio em solos calcários.

Cerca de 95% da produção mundial de potássio é utilizada como fertilizante, desse montante, 90% sob forma de KCl (cloreto de potássio). Outros sais utilizados são K_2SO_4 (sulfato de potássio), $K_2SO_4MgSO_4$ (sulfato duplo de potássio e magnésio), KNO_3 (nitrato de

potássio) e $\text{KNO}_3 \cdot \text{NaNO}_3$ (salitre potássico) (NASCIMENTO & LOUREIRO, 2004). Para Messias et al. (1998) as concentrações de K_2O em KCl , K_2SO_4 , $\text{K}_2\text{SO}_4\text{MgSO}_4$ e KNO_3 são, respectivamente, 60%, 50%, 22% e 44%. Estudos mostram que as altas produções são mantidas à custa de altos consumos de K e que por mais que existam mecanismos, técnicas e sistemas de ciclagem desse nutriente, sempre existirão perdas devidas a sua alta mobilidade (KINPARA, 2003).

O potássio constitui, juntamente com o nitrogênio e o fósforo, o grupo denominado de elementos nobres da fertilização. Ele é de ocorrência generalizada na natureza, aparecendo sempre em formas combinadas inorgânicas ou, no solo, em forma iônica. A sua eficiência nos fertilizantes depende sistematicamente da maneira de como são aplicados e das condições do solo a ser fertilizado. Diante disso, existem sugestões quanto ao uso do potássio no solo: solos naturalmente pobres em potássio requerem adições freqüentes e moderadas; práticas culturais que melhoram as condições de aeração do solo (aração, gradagem, drenagem, etc.), bem como as que evitam as perdas por lixiviação (adição de matéria orgânica e calagem) e por erosão (plantio em nível, terraço, etc.) tendem a melhorar o aproveitamento do K no solo; a tendência para equilíbrio entre o K não trocável, trocável e em solução e as perdas as quais o K solúvel está sujeito, sugerindo dois princípios básicos para a adição de K como fertilizante: 1) é que o elemento deve ser aplicado parceladamente em lugar de toda a quantidade necessária de uma vez só; 2) que se deve concentrar o K no sulco ou na cova de plantio sempre que possível (MESSIAS et al., 1998).

Montag (1999) propõe em condições de pré-plantio que os níveis adequados para K no percentual da CTC do solo e na relação Ca:K:Mg do solo devem ser, respectivamente, de 3% e 16,67:1:1,67. E para P, o mesmo autor recomenda, pelo extrator Olsen, um nível de 59 mg kg^{-1} de solo. Já Papadopoulos (1999) recomenda que, para que as plantas possam ter o máximo desempenho produtivo, é necessário que o solo forneça uma margem de segurança (ou nível de segurança) de P e K de 30 e 100 mg kg^{-1} para ambos os nutrientes.

Em um experimento conduzido no campo de produção da Empresa Frutas do Nordeste S/A - FRUNORTE no município de Alto do Rodrigues-RN, objetivando o estudo do efeito do equilíbrio catiônico do solo na produção e qualidade de frutos de melão (*Cucumis melo*, L.) com as variedades Orange Flash, Gold Mine e Pele de Sapo, Silva (2000) percebeu que, para a relação Ca:K:Mg do solo de 9:1:3, a adubação corretiva de potássio e magnésio proporcionou maior rendimento e melhor qualidade nos frutos do melão Pele de Sapo e que as adubações corretivas pontual ou em área total, para o estabelecimento de equilíbrios de

cátions proporcionaram efeitos semelhantes na produção e qualidade dos frutos de melão Orange Flesh e Gold Mine.

2.4 Efeitos de fontes e doses N-P-K nas culturas estudadas

Ao utilizar nitrogênio aplicado no pré-plantio de melão (0; 67 e 100 kg ha⁻¹) e por gotejamento (0; 50 e 100 mg dm⁻³), Bhella & Wilcox (1986) observaram que a produção de frutos aumentou quando as plantas não tinham recebido o nitrogênio no pré-plantio.

Alguns autores estudando o efeito da adubação com N e K na produção de melão em solos arenosos observaram que há efeito significativo apenas para o N na produtividade total, comerciável e não comerciável do meloeiro, e os rendimentos da cultura aumentaram com o aumento dos níveis de N, tendo-se para esse elemento um rendimento máximo em produtividade com a dosagem de 120 kg.ha⁻¹ de N aplicado via água de irrigação, já que a outra dose estudada (180 kg.ha⁻¹ de N) elevou a produtividade em apenas 7,8 %, não diferindo estatisticamente da anterior (COELHO et al., 2001). Outros autores, porém, afirmam que os níveis altos de potássio do solo não permitiram verificar os efeitos das doses do nutriente aplicado via água na produtividade do melão, e a interação entre os níveis de nitrogênio e potássio não tiveram efeito significativo, nem na produtividade e nem nas características físicas e químicas de qualidade de frutos, na cultura estudada (DUTRA et al., 2005).

Em um estudo semelhante realizado em um vertissolo de Juazeiro - BA, Faria et al. (2000) comprovaram que com um nível de 80 kg ha⁻¹ de N, com uma planta por cova (que é um tratamento com baixo custo), é possível obter-se produtividade alta (34,07 t ha⁻¹) e não significativamente inferior às mais altas (29,98 e 37,71 t ha⁻¹, obtidas respectivamente com 130 e 180 kg.ha⁻¹ de N). Segundo o mesmo autor, esse nível assemelha-se ao nível ótimo, que é de 74 kg ha⁻¹ de N.

Em estudo realizado numa área experimental de Latossolo Vermelho-amarelo Distrófico típico, no município de Piracicaba, Estado de São Paulo, para extrações de nutrientes pelo meloeiro rendilhado (*Cucumis melo* L. var *Cantalupensis* Naud.) híbrido Bônus n° 2 cultivado em ambiente protegido, para o ciclo total do meloeiro de 86 dias e produtividade máxima de 1,98 frutos por planta, foram aplicados via água de irrigação (por gotejamento), em cobertura, 200 kg ha⁻¹ de N, na forma de Nitrato de Amônio (NH₄NO₃) até os 64 dias após o transplantio e na forma de Nitrato de Potássio (KNO₃) até 72 dias após o transplantio. A dose de K₂O foi de 340 kg ha⁻¹, aplicadas na forma de Nitrato de Potássio (KNO₃), até 72 dias após o transplantio (KANO, 2002).

Em estudos realizados em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média para a produção de melancia no município de Borborema – SP, Cecílio Filho & Grangeiro (2004a) comprovaram que a produtividade em função das doses de potássio apresentou comportamento quadrático para as fontes de K_2SO_4 , KNO_3 e KCl , com pontos de máximos atingidos nas doses de 132; 193 e 205 $kg\ K_2O\ ha^{-1}$, respectivamente, para K_2SO_4 , KNO_3 e KCl , sendo as respectivas produtividades de 32,4; 34,4 e 32,4 $t\ ha^{-1}$, e que a massa seca e as exportações de N, P, K, e Ca aumentaram de forma quadrática com as doses de potássio, e a aplicação de KCl aumentou, respectivamente, de forma quadrática e linear, as exportações de S e Cl pelos frutos de melancia. Em estudo para condições semelhantes a de Borborema determinou-se que em melancia sem semente, há efeito significativo para o desdobramento da interação doses dentro de cada fonte de potássio para a característica espessura da casca do fruto para as fontes KCl e KNO_3 . Com KCl , o comportamento foi linear, atingindo 12,4 mm na dose de 300 $kg\ K_2O\ ha^{-1}$, ao passo que, com KNO_3 , o comportamento foi quadrático, com máximo de 12,7 mm, atingido na dose de 202 $kg\ K_2O\ ha^{-1}$ (CECÍLIO FILHO & GRANGEIRO, 2004b).

Em estudo com a cultura do melão (*Cucumis melo* L.), cultivar Valenciano Amarelo, num Latossolo Vermelho-Amarelo, em Petrolina, PE, com o objetivo de avaliar o efeito de fontes de fósforo aplicadas convencionalmente (em fundação) e via água de irrigação, Brito et al. (1999) concluíram que as maiores produtividades de frutos comerciais foram obtidas com MAP (27,42 $t\ ha^{-1}$) e com superfosfato simples (25,96 $t\ ha^{-1}$) aplicados pelo método convencional, não diferindo do MAP aplicado via água de irrigação até 30 e 42 dias após a germinação, mas superando a produtividade de 19,47 $t\ ha^{-1}$ obtida com o MAP aplicado via água de irrigação até 15 dias após a germinação. Já Brito et al. (2000), para as mesmas condições de solo, concluíram que as maiores produtividades de frutos comerciais foram obtidas com ácido fosfórico (32,20 e 28,90 $t\ ha^{-1}$) aplicado via água de irrigação até 42 e 30 dias após a germinação, respectivamente, não diferindo das produtividades com o MAP aplicado via água de irrigação até 42 dias após a germinação (27,95 $t\ ha^{-1}$) e pelo modo convencional (26,92 $t\ ha^{-1}$).

Em um estudo realizado para se determinar o efeito do acúmulo de biomassa e absorção de nutrientes por híbridos de melão, em solo de areias quartzosas distróficas, localizado em Trairí, no Ceará, utilizando o tipo Gália e visando encontrar a dose que proporcionasse melhor rendimento à cultura, observou-se que as doses de 45-57-89 $kg\ ha^{-1}$ de N - P_2O_5 - K_2O , respectivamente, foram a que apresentou melhor rendimento à cultura (PRATA, 1999). Em estudo posterior, para as mesmas condições de solos, em Paraipaba-CE,

chegou-se a conclusão que as recomendações anteriores para os nutrientes N e P_2O_5 estavam abaixo ao que a literatura preconizava. Para o híbrido Mission, com características semelhantes ao estudo do Trairí (PETOSSED, 2002), o estudo atual revelou que para os mesmos nutrientes estudados, as quantias que levaram a variedade estudada a produtividade de $43,64 \text{ t ha}^{-1}$ foram, respectivamente, $197 - 121 - 81 \text{ kg ha}^{-1}$ (LIMA, 2001).

Em estudos realizados com melancia em Mossoró-RN, a adubação de fundação foi de 30 t ha^{-1} de esterco curtido e 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato simples, e a adubação de cobertura de 120 kg ha^{-1} de N na forma de uréia e 240 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio, com densidade de plantas de $3.333 \text{ plantas ha}^{-1}$, observou-se que para uma produtividade de 20 t ha^{-1} foram exportados pelos frutos $29,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, $4,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de P e $36,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de K (NUNES, 2004).

2.5 Características de qualidade em melão

Para SEYMOUR & McGLASSON (1993) a qualidade de melão está fortemente relacionada aos teores de açúcares solúveis totais e ao flavor (gosto e aroma). PRATT (1971), COHEN & HICKES (1986) e LESTER & SHELLIE (1992) acrescentam também a firmeza da polpa como um atributo de qualidade em melões. MICOLLIS & SALTVEIT Jr. (1995) salientaram que durante o crescimento e amadurecimento do melão, outras características como cor externa e interna, diâmetro da cavidade das sementes e concentração interna de etileno, são importantes na determinação da qualidade.

A firmeza da polpa é uma característica importante para a exportação dos frutos. Em melão, ocorre o amaciamento da polpa durante o amadurecimento e o armazenamento (MENEZES et al., 1997; MEDEIROS et al., 2001), sendo esse processo de especial interesse, pois melões mais firmes garantem maior resistência ao transporte e armazenamento. No melão o amaciamento do tecido envolve modificações na parede celular, no entanto o mecanismo bem como as enzimas envolvidas neste processo ainda não estão inteiramente caracterizados (VILAS-BOAS et al., 1998).

2.6 Ferramentas disponíveis para auxiliar o manejo da adubação/fertirrigação

No mercado há uma gama de softwares que se dispõe a operacionalizar o dimensionamento da fertilização das plantas em cultivos comerciais com alta eficiência, servindo assim, como uma importante ferramenta de auxílio no processo produtivo

(ROSSETTI, 2004). Dentre eles se destacam: FERTICALC[®] – Bananeira, FÉRTIL – programa de fertirrigação para computadores, PHYTOSOLO e SIRA Fertilidade & Dris.

O FERTICALC[®] – Bananeira, é utilizado para calcular a quantidade de fertilizante a ser aplicado em cultivos agrícolas com a finalidade de obtenção de uma determinada produtividade. Este sistema computacional constitui importante alternativa para recomendação de adubação para a cultura da bananeira (OLIVEIRA et al., 2005).

O programa FÉRTIL tem como missão determinar o calendário de irrigação e fertirrigação. Sendo a primeira determinação baseada no princípio de que a evapotranspiração da cultura depende das condições climáticas e, portanto, a quantidade absoluta de água necessária pela cultura é diferente em diferentes lugares e países. Para o calendário da fertirrigação, o programa dá a oportunidade de selecionar o fertilizante dentre os oferecidos no mercado que melhor se adaptam às necessidades da cultura. Além disso, o programa pode oferecer a forma e a quantidade necessárias de fertilizantes para diferentes rendimentos numa cultura (PAPADOPOULOS, 1999).

O programa PHYTOSOLO teve sua metodologia desenvolvida na UEL - Universidade Estadual de Londrina, e é baseada em técnicas de agricultura de precisão e com a utilização de ferramentas específicas por pessoal treinado, em que efetua-se a amostragem de solos, interpreta-se os resultados das análises química e física do solo, confecciona-se mapas temáticos de aplicação e orienta-se nas aplicações de corretivos e fertilizantes necessários na obtenção de plantas bem nutridas, o que contribui com o seu desenvolvimento, sua sanidade e na expressão do seu potencial produtivo terminando por, junto com a economia de insumos alcançada, aumentar a rentabilidade do empreendimento (ROSSETTI, 2004).

O programa SIRA Fertilidade & Dris é uma ferramenta na plataforma de softwares especialistas, próprio para o manejo químico da fertilidade do solo e nutrição de plantas, Dris (Diagnosis and recommendation integrat system), plantio direto, adubação verde, fertirrigação e hidroponia, que através da elaboração de recomendações agronômicas sobre o manejo químico da fertilidade do solo e nutrição de plantas, busca atender às necessidades técnicas preconizadas pela pesquisa agrícola para todas as regiões produtoras do país, não envolvendo obrigatoriamente o monitoramento dos técnicos responsáveis, permitindo reconfigurações no software, em função de conhecimentos acumulados ou necessidades regionais específicas (ROSSETTI, 2004).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Sistema Computacional

Foi elaborado um modelo e um sistema computacional em planilha eletrônica para operar os cálculos da adubação/fertirrigação para culturas anuais, seguindo as metodologias utilizadas nos modelos do FERTICALC (NOVAIS & SMYTH, 1999) e recomendações de Montag (1999), de Papadopoulos (1999) e de Crisostomo et al. (2002), utilizando-se os fatores de correção para uso dos nutrientes N, P e K, que depende do tipo de solo, tanto para adubação de fundação como em cobertura através de fertirrigação (MONTAG, 1999).

O sistema determina as doses dos nutrientes (N, P e K) a serem fornecidas em adubação de fundação e cobertura através de metodologias por ele adotadas ou de teores fornecidos pelo operador, levando em consideração as quantidades de nutrientes fornecidas pelo solo e água de irrigação, e com o auxílio de um banco de dados para a seleção apropriada de cada nutriente, fornece de forma balanceada as quantidades semanal/diária de adubos que suprem as exigências nutricionais e a fertilidade do solo para cultura selecionada em todo o ciclo. Os cálculos são realizados como segue.

3.1.1 Adubação de fundação

a) Para Nitrogênio (N)

O sistema recomenda para o nitrogênio os teores de 10% (CRISOSTOMO, 2002), 15% (MONTAG, 1999) e 35% (NOVAIS & SMYTH, 1999) do total exportado, dando opção de escolha ao usuário, conforme haja uma melhor adequação dos dados às condições locais de produção da cultura selecionada. A quantidade líquida do nutriente recomendado por uma das metodologias é quantificada conforme Eq. 1.

$$Qn_{Metod} = \frac{N_{total\ exp\ ortado} \times G_N}{100} \quad (Eq. 1)$$

Onde:

$Q_{N_{Metod}}$ – quantidade líquida de N a aplicar em fundação levando em consideração apenas a recomendação selecionada, dentre as disponíveis no programa para a nutrição de N ($kg\ ha^{-1}$);

$N_{Total\ exportado}$ – valor total exportado de N pela cultura selecionada, em todo seu ciclo, para a produtividade almejada ($kg\ ha^{-1}$);

G_N – é o percentual, do total exportado de N pela cultura selecionada, a aplicar em adubação de fundação conforme metodologia selecionada (%);

Após o cálculo definido na equação anterior, o sistema executa o cálculo para quantificar os teores de N que serão mineralizados a partir do N total existente no solo e da matéria orgânica aplicada. Esses valores são estimados através das equações de Kafkafi et al. (1978), conforme segue.

$$T_M N = \frac{\theta_A}{\theta_{CC}} \cdot 0,196 \cdot NT \cdot (1 - e^{-kt}) \quad (Eq. 2)$$

Onde:

$T_M N$ – teor de nitrogênio mineralizado ($mg\ dm^{-3}$);

θ_A – umidade atual do solo ($cm^3\ cm^{-3}$);

θ_{CC} – capacidade de campo do solo ($cm^3\ cm^{-3}$);

NT – Nitrogênio total do solo ($mg\ kg^{-1}$);

k – taxa de decomposição (dia^{-1});

Sendo que:

$$k = 7,3 \times 10^6 \times 10^{-2758/(273+T)} \quad (Eq. 3)$$

Onde: $T \rightarrow$ é a temperatura do solo ($^{\circ}C$);

t – tempo de mineralização do nitrogênio contido na matéria orgânica do solo (dias);

Com relação ao cálculo do nitrogênio total do solo (NT) utilizado na eq. 3, o sistema considera como fontes, para efeito de cálculo, os seus teores apresentados na análise química do solo somados aos teores contidos na matéria orgânica adicionadas a ele em pré-plantio nas diversas fontes existentes no mercado. O sistema adota teores contidos na matéria orgânica conforme Messias et al. (1998) e o equacionamento de NT é feito conforme apresentado a seguir.

$$NT = \frac{(V_{solo} \times T_{mos} \times G_{Nmos} \times 100) + (Q_{MOA} \times G_{Nf} \times 1.000)}{V_{solo}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

NT – Nitrogênio total do solo (mg dm^{-3});

T_{mos} – teor de matéria orgânica no solo (%);

G_{Nmos} – percentual de nitrogênio disponível na matéria orgânica do solo, que o sistema adotou como 5% (LOPES et al., 2003);

G_{Nf} – percentual de nitrogênio na matéria orgânica utilizada (%);

Q_{MOA} – quantidade líquida de matéria orgânica adicionada ao solo (m^3);

V_{solo} – volume de solo explorado pelo sistema radicular da cultura numa área de um hectare ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

$$V_{solo} = Zef \times FM \times 100 \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que:

Zef – profundidade efetiva da zona radicular para a cultura selecionada, onde a maior parte dos nutrientes podem ser absorvidos (m);

FM – fator de molhamento, que corresponde a fração de solo umedecida pelo sistema de irrigação (%).

b) Para Fósforo (P)

O sistema recomenda para nutrição de fundação do fósforo os teores de 80% e 100% do total exportado, respectivamente, pelas metodologias de Crisostomo (2002) e Papadopoulos (1999), dando opção de escolha ao usuário, conforme haja uma melhor adequação dos dados nessas recomendações para condições locais de produção da cultura selecionada. O total recomendado por uma das metodologias é quantificado conforme Eq. 6.

$$Q_{p_{Metod}} = \frac{P_{total\ exp\ ortado} \times G_P}{100} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

$Q_{p_{Metod}}$ – quantidade líquida de P a aplicar em fundação levando em consideração apenas a recomendação selecionada, dentre as disponíveis no programa para a nutrição de P (kg ha^{-1});

$P_{\text{Total exportado}}$ – valor total exportado de P pela cultura, em todo seu ciclo, para a produtividade almejada (kg ha^{-1});

G_P – percentual, do total exportado de P pela cultura, a aplicar em adubação de fundação conforme metodologia selecionada (%);

O resultado da equação anterior é confrontado com o valor que a fertilidade do solo requer para manter o nível de segurança recomendado por Papadopoulos (1999) para esse nutriente no solo. Esse valor é quantificado conforme Eq. 7.

$$Q_{p_{\text{solo}}} = \frac{P_{\text{exigência solo}} \times V_{\text{solo}}}{1.000} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

$Q_{p_{\text{solo}}}$ – quantidade líquida de fósforo que deve ter o solo para não haver restrições de fertilidade para a cultura selecionada (kg ha^{-1});

V_{solo} – volume de solo explorado pelo sistema radicular da cultura numa área de um hectare ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$);

$P_{\text{exigência solo}}$ – teor de P que deve conter o solo, adotado no sistema o valor de 30 mg dm^{-3} [aproximação dos dados adotados por Papadopoulos (1999) para manter o nível de segurança do nutriente convertido para as unidades do sistema].

A partir do resultado das equações 6 e 7, o sistema adota no dimensionamento, dentre os valores de $Q_{p_{\text{Metod}}}$ e $Q_{p_{\text{solo}}}$, o maior valor.

c) Para Potássio (K)

O programa recomenda para o potássio o teor de 10% do total exportado, conforme recomenda a metodologia de Crisóstomo (2002). O total recomendado pela metodologia é quantificado conforme Eq. 8.

$$Q_{k_{\text{Metod}}} = \frac{K_{\text{total exp ortado}} \times G_K}{100} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

$Q_{k_{Metod}}$ – quantidade líquida de K a aplicar em fundação levando em consideração, apenas, a recomendação selecionada dentre as disponíveis no sistema para a nutrição de K ($kg\ ha^{-1}$);

$K_{Total\ exportado}$ – total exportado de K pela cultura, em todo seu ciclo, para a produtividade almejada ($kg\ ha^{-1}$);

G_K – percentual total exportado de K pela cultura, a aplicar em adubação de fundação conforme metodologia selecionada (%);

O resultado da equação anterior é confrontado com o maior valor que o solo requer para se ter uma boa fertilidade para esse elemento, que é: no mínimo 3% de K na CTC do solo, a relação de 15:1 entre cálcio e potássio e uma concentração no solo de $0,32\ cmol_c\ dm^{-3}$, que são, respectivamente, equacionados como segue.

c.1) Teor de K pela relação de 15:1 entre cálcio e potássio

Esta relação repõe o potássio ao solo obedecendo à relação partes de cálcio para partes de potássio no qual esse nutriente fica em equilíbrio no solo segundo as exigências da planta e a análise laboratorial de Ca para o solo, e é calculado conforme equação a seguir.

$$K_{Ca:K} = \frac{Ca_{solo}}{Ca : K_{solo}} \quad (Eq. 9)$$

Onde:

$K_{Ca:K}$ – teor de potássio que o solo deve ter para satisfazer as necessidades da planta segundo a relação cálcio (Ca) e potássio (K) exigida ($cmol_c\ dm^{-3}$);

Ca_{SOLO} – teor de cálcio no solo ($cmol_c\ dm^{-3}$);

$Ca:K_{SOLO}$ – é a relação Ca:K exigida no solo, adotada no sistema o valor 15.

c.2) Teor de K em 3% da CTC do solo

Esta relação repõe o potássio ao solo obedecendo às necessidades em CTC de K no solo para a planta e é calculado conforme equação a seguir.

$$K_{CTC} = \frac{CTC \cdot G_{kCTC}}{100} \quad (Eq. 10)$$

Onde:

K_{CTC} – teor de potássio que o solo deve ter para satisfazer as necessidades da planta segundo a relação da CTC exigida ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$);

CTC – capacidade de troca de cátions apresentada na análise de solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$);

G_{KCTC} – percentagem de K na CTC para satisfazer as necessidades da planta, adotado no programa o valor de 3%.

c.3) Quantificação de K para a exigência do solo

Esta relação repõe o potássio ao solo obedecendo às necessidades iniciais da planta para esse nutriente e é calculado conforme equação a seguir.

$$Qk_{\text{solo}} = \frac{39 \times K_{\text{exigência solo}} \times V_{\text{solo}}}{100} \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

Qk_{solo} – quantidade líquida de potássio que deve conter no solo para não haver restrições de fertilidade para a cultura selecionada (kg ha^{-1});

$K_{\text{exigência solo}}$ – teor de K que deve conter o solo, adotado no sistema o valor de $0,32 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ [aproximação dos dados adotados por Papadopoulos (1999) para manter o nível de segurança do nutriente convertido para as unidades do sistema].

Após a estimativa dos parâmetros de K, recomenda-se como valor a ser utilizado na fundação para nutrição desse elemento, o que demonstrou maior demanda pelo solo para atingir a fertilidade necessária a condução da cultura estudada, conforme será demonstrado a seguir.

$$K_{\text{max}} = \text{Máximo}(K_{Ca:K}; K_{CTC}; K_{\text{exigência solo}}) \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde:

K_{max} – valor (teor) de maior demanda encontrado para K dentre os teores encontrados no sistema que satisfazem os níveis de fertilidade do solo para esse nutriente ($K_{Ca:K}$, K_{CTC} e $K_{\text{exigência solo}}$) ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Após os seguimentos de cálculos adotados nas equações 2 a 12, o sistema executa os cálculos para quantificar os totais adotados para a adubação de fundação, subtraindo os valores encontrados para cada elemento segundo suas respectivas metodologias adotadas ou os valores encontrados para manter os níveis de segurança na fertilidade do solo conforme recomendam os autores das metodologias adotadas no sistema e descritas anteriormente, dos valores obtidos na análise química do solo para os respectivos elementos. O procedimento de cálculos realizados no programa para essa etapa, segue conforme demonstrado abaixo.

d) Quantificação dos valores dos nutrientes (N, P ou K) na adubação de fundação

d.1) Quantificação para N ou P

$$ST_F(f) = Q_{Metod}(f) - \frac{(Tas(f) \times V_{solo})}{1.000} \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde:

$ST_F(f)$ – subtotal de N (ST_{Fn}) ou P (ST_{Fp}) adotado em fundação (kg ha^{-1});

$Q_{Metod}(f)$ – quantidade líquida de N (Q_{nMetod}) ou P (Q_{pMetod}) a aplicar em fundação levando em consideração apenas a recomendação selecionada, dentre as disponíveis no sistema para a nutrição de N ou P (kg ha^{-1}).

$Tas(f)$ – teor total de nitrogênio mineralizado (T_{MN}) ou de P ($TasP$) verificado na análise de solo (mg dm^{-3});

V_{solo} – volume de solo explorado pelo sistema radicular da cultura numa área de um hectare ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).

d.2) Quantificação para K

$$ST_F(f) = \frac{39 \times \Delta_{nut}k \times V_{solo}}{100} \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde:

ST_{Fk} – subtotal de potássio necessário em fundação (kg ha^{-1});

$\Delta_{nut}k$ – diferença entre teor de K exigido no solo e o valor do respectivo nutriente na análise de solo ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$),

$$\text{sendo, } \Delta_{nut}k = K_{\max} - TasK \quad (\text{Eq. 15})$$

Onde: $K_{\max}$ – valor (teor) de maior demanda encontrado para K dentre os teores encontrados no sistema que satisfazem os níveis de fertilidade do solo para esse nutriente ($K_{Ca:K}$, K_{CTC} e $K_{\text{exigência solo}}$) ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$);

$TasK$ – teor de K segundo a análise de solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$);

V_{solo} – volume de solo explorado pelo sistema radicular da cultura numa área de um hectare ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

O sistema condiciona os valores encontrados nas equações 13 e 14 a não serem nunca inferiores à 0 (zero), conforme a equação que segue.

$$ST_F(f) = \begin{cases} 0, & \text{se } ST_F(f) \leq 0 \\ ST_F(f), & \text{se } ST_F(f) > 0; \end{cases} \quad (\text{Eq. 16})$$

Como dado auxiliar, o sistema realiza o cálculo que transforma o valor obtido na análise química do solo, para os elementos P e K, de teores para quantidades, conforme segue.

e) Transformação dos valores dos nutrientes P e K da análise de solo

$$Qas(f) = \begin{cases} \frac{(TasP \times V_{\text{solo}})}{1.000}, & \text{para nutriente P;} \\ \frac{39 \times TasK \times V_{\text{solo}}}{100}, & \text{para nutriente K;} \end{cases} \quad (\text{Eq. 17})$$

Onde:

$Qas(f)$ – quantidade líquida do nutriente (N, P ou K) disponível no solo (kg ha^{-1});

$TasP$ – teor de P obtido na análise de solo (mg dm^{-3}).

$TasK$ – teor de K obtido na análise de solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

3.1.2 Adubação de cobertura para os nutrientes N–P–K

a) Quantificação dos teores de N-P-K fornecidos em adubação de cobertura

Os valores de N–P–K para a adubação de cobertura (fertirrigação) são obtidos através da subtração entre o total exportado do nutriente, segundo o que recomenda a sua curva de

absorção após a devida calibração desse valor para a produtividade almejada, pelo total do nutriente prontamente disponível no solo para a cultura explorada, após terem sido satisfeitas todas as condições impostas pelo sistema (níveis de segurança para P e K conforme recomendação de PAPADOPOULOS, 1999). Para a nutrição com K, acrescenta-se ainda à subtração, o valor desse elemento contido na água de irrigação e condiciona que os subtotais de nutrientes obtidos para esse passo nunca sejam inferiores à 0 (zero), conforme demonstra as equações a seguir.

$$ST_C(f) = Q_{exp}(f) - Q_{excesso}(f) \quad (\text{Eq. 18})$$

Onde:

$ST_C(f)$ – subtotal do nutriente (ST_{Cn} para N, ST_{Cp} para P ou ST_{Ck} para K) adotado em cobertura (kg ha^{-1});

$Q_{exp}(f)$ – quantidade líquida total do nutriente exportado ($N_{\text{Total exportado}}$ para N, $P_{\text{Total exportado}}$ para P ou $K_{\text{Total exportado}}$ para K) para a cultura selecionada (kg ha^{-1});

$Q_{excesso}(f)$ – quantidade líquida do nutriente (N, P ou K) que está em excesso no solo (kg ha^{-1}), onde:

$$Q_{excesso}(f) = \begin{cases} Q_{excesso}N, & \text{se o nutriente for N;} \\ QMd(f), & \text{se o nutriente for P ou K;} \end{cases} \quad (\text{Eq. 19})$$

Sendo que: $QMd(f) \rightarrow$ quantidade total dos nutrientes P e K disponíveis no solo (kg ha^{-1});

A quantidade líquida do nutriente (N, P ou K) prontamente disponível no solo, segue uma forma própria de equacionamento para cada nutriente e não permite que os $Q_{excesso}(f)$ sejam inferiores à 0 (zero), já que se isso acontecer, a quantidade de $ST_C(f)$ adotada será superior ao que recomenda as equações de calibração para a produtividade almejada, ocasionando um erro de dimensionamento. O equacionamento para esse passo no sistema é apresentado em seguida:

a.1) Para a nutrição de N:

$$Q_{excesso}N = \begin{cases} 0, & \text{se } Q_{excesso}N \leq 0; \\ Qn_{Metod}, & \text{se } Q_M N \leq Qn_{Metod}; \\ Q_M N, & \text{se } Q_M N > Qn_{Metod}; \end{cases} \quad (\text{Eq. 20})$$

a.2) Para a nutrição de P:

$$QMd(f) = QMdP = \begin{cases} 0, & \text{se } QMdP \leq 0; \\ QasP - Qp_{solo}, & \text{se } QasP \leq Qp_{Metod}; \\ QasP - Qp_{Metod}, & \text{se } QasP > Qp_{Metod}; \end{cases} \quad (\text{Eq. 21})$$

a.3) Para a nutrição de K:

$$QMd(f) = QMdK = \begin{cases} 0, & \text{se } QMdK \leq 0; \\ QasK + Q_{kH_2O} - Qk_{Metod}, & \text{se } TasK > K_{exigência\ solo}; \\ QasK + Q_{kH_2O} - Qk_{solo}, & \text{se } TasK \leq K_{exigência\ solo}; \end{cases} \quad (\text{Eq. 22})$$

Onde:

Q_{kH_2O} – quantidade aplicada do nutriente ou íon via água de irrigação (kg ha^{-1});

Sendo:

$$Q_{kH_2O} = \frac{L_T \times A \times PA}{100} \quad (\text{Eq. 23})$$

Onde:

A – teor do nutriente ou íons na água de irrigação (mmol/L);

L_T – lâmina total de água aplicada no ciclo da cultura selecionada (mm),

onde:

$$L_T = l_{md} \times C_T \quad (\text{Eq. 24})$$

Sendo que:

l_{md} – lâmina média diária para a cultura selecionada (mm dia^{-1});

C_T – duração do ciclo de vida da cultura selecionada (dia);

PA – peso atômico de cada elemento ou íon contido na água;

Para os casos da nutrição de P ou K, o programa atribui as seguintes equações para o dimensionamento de $QMd(f)$:

b) Condição imposta a nutrição da cultura em adubação de cobertura para corrigir valores obtidos em $ST_C(f) < 0$

$$ST_C(f) = \begin{cases} 0, & \text{se } ST_C(f) \leq 0; \\ ST_C(f), & \text{se } ST_C(f) > 0; \end{cases} \quad (\text{Eq. 25})$$

Onde:

$ST_C(f)$ – subtotal de adubo adotado em cobertura para N (ST_{Cn}) P (ST_{Cp}) ou K (ST_{Ck}) em kg ha^{-1} ;

c) Condição imposta a nutrição de K em adubações de fundação e de cobertura para corrigir quantidades elevadas de K na fertilidade do solo

Quando as recomendações da adubação de fundação para suprirem as necessidades da fertilidade do solo para K forem superiores a 70% do seu total exportado, o sistema adota para a nutrição de K em fundação e em cobertura, respectivamente, os valores de 70% e 30% do seu total exportado, ou seja:

$$ST_F K = \begin{cases} ST_F K, & \text{se } Qk_{solo} \leq K_{Total\ exp\ ortado} ; \\ 0,7 \times K_{Total\ exp\ ortado}, & \text{se } Qk_{solo} > K_{Total\ exp\ ortado} ; \end{cases} \quad (\text{Eq. 26})$$

$$ST_C K = \begin{cases} ST_C K, & \text{se } Qk_{solo} \leq K_{Total\ exp\ ortado} ; \\ 0,3 \times K_{Total\ exp\ ortado}, & \text{se } Qk_{solo} > K_{Total\ exp\ ortado} ; \end{cases} \quad (\text{Eq. 27})$$

Onde:

$K_{Total\ exp\ ortado}$ – quantidade líquida a exportar de K para uma produtividade almejado adotada no sistema (kg ha^{-1});

Qk_{solo} – quantidade líquida de potássio que deve conter no solo para não haver restrições de fertilidade para a cultura selecionada (kg ha^{-1});

As quantidades dos nutrientes N–P–K, após a etapa anterior, são multiplicados pelo fator de eficiência adotado em adubação convencional, quando a adubação for a de fundação, e pelo fator de eficiência adotado em fertirrigação, quando a adubação for a de cobertura (Tabela 1), tendo a seqüência de cálculo como demonstrado a seguir.

3.1.3 Cálculo da necessidade total de nutrientes corrigido pelo fator de eficiência

O sistema adotou fatores de correção, tanto para tornar os elementos em óxidos (quando for o caso), quanto para melhorar a eficiência da absorção do nutriente pela planta via solo nas adubações de fundação e de cobertura. Para a transformação dos elementos em óxidos, o sistema adotou procedimento de cálculos conforme recomenda a literatura, e como fatores de eficiência, a média da faixa de valores demonstrados para cada tipo de adubação (convencional ou fundação e cobertura ou fertirrigação) e para cada nutriente (nitrogênio, fósforo e potássio) da tabela 1. A obtenção do resultado de cálculos foi feita com segue.

Tabela 1 – Fatores de correção para o nitrogênio, fósforo e potássio.

Nutriente	Fator de correção *	
	Convencional	Fertirrigação
Nitrogênio	1,2 – 1,25	1,1 – 1,2
Fósforo	1,9 – 2,20	1,6 – 1,9
Potássio	1,4 – 1,60	1,2 – 1,4

Fonte: MONTAG (1999).

a) Adubação de fundação total corrigida pelo fator de eficiência para cada nutriente

$$ST_{FC}(f) = ST_F(f) \times fe_{Conv}(f) \times fc_{\acute{o}xido}(f) \quad (\text{Eq. 28})$$

Onde:

$ST_{FC}(f)$ – subtotal de nutriente adotado em fundação para N ($ST_{FC}N$), P ($ST_{FC}P$) e K ($ST_{FC}K$) corrigido para a adubação convencional (kg ha^{-1});

$fe_{Conv}(f)$ – fator de correção para adubação convencional para N (fe_FN), P (fe_FP) e K (fe_FK).

$fc_{\acute{o}xido}(f)$ – fator de correção usado para transformar os elementos nos seus respectivos óxidos (P_2O_5 e K_2O), o programa adota o valor 2,29 quando o nutriente for P ou 1,2 quando o nutriente for K.

b) Adubação de cobertura total corrigida pelo fator de eficiência para cada nutriente

$$ST_{CFert}(f) = ST_C(f) \times fe_{Fert}(f) \times fc_{\acute{o}xido}(f) \quad (\text{Eq. 29})$$

Onde:

$ST_{CFert}(f)$ – subtotal de nutriente adotado em cobertura para N ($ST_{CFert}N$), P ($ST_{CFert}P$) e K ($ST_{CFert}K$) corrigido para a adubação convencional (kg ha^{-1});

$fe_{Fert}(f)$ – fator de correção para adubação por fertirrigação para N ($fe_{Fert}N$), P ($fe_{Fert}P$) e K ($fe_{Fert}K$).

$fc_{\text{óxido}}(f)$ – fator de correção usado para transformar os elementos nos seus respectivos óxidos (P_2O_5 e K_2O), o programa adota o valor 2,29 quando o nutriente for P ou 1,2 quando o nutriente for K.

3.1.4. Seleção e quantificação dos fertilizantes

O sistema possui um banco de dados onde o usuário poderá cadastrar os principais fertilizantes utilizados para a fertirrigação. Os dados de cada fertilizante necessário são: nome do adubo, índice de escolha, densidade (g/cm^3), solubilidade (g/l), fórmula, quantidade de N, P_2O_5 , K_2O , Ca, Mg, S em (%), índice salino, índice de acidez, peso molecular e o preço por quilograma. Também cadastra as áreas de cada cultura (áreas dos lotes, a espécie, data de plantio, comprimento das fases fenológicas e os Kc's).

Para os cálculos, os dados poderão ser tomados no banco de dados ou o usuário fornecerá. O programa possui um banco de dados contendo características dos fertilizantes comerciais que poderão ser utilizados para o fornecimento das quantidades requeridas dos nutrientes, além de utilizar dados das culturas [comprimento das fases fenológicas e Kc's (FAO, 1980), totais de nutrientes exportados e a equação que define a fração absorvida em cada semana, data de plantio], dados climáticos (ETo diária e precipitação pluviométrica) e dados do sistema de irrigação (vazão e espaçamento dos emissores, eficiência de aplicação e vazão do injetor de fertilizante). O usuário escolherá em um menu os fertilizantes para o fornecimento de N, P_2O_5 e K_2O . O programa calculará a quantidade de cada fertilizante levando-se em conta a quantidade do cátion e do ânion fornecido pelo fertilizante, bem como informando a compatibilidade entre estes.

Após o cálculo, o programa fornecerá a quantidade de cada fertilizante selecionado, além do índice salino, índice de alcalinidade e preço de cada adubo utilizado e a condutividade elétrica estimada na água de irrigação.

3.1.4.1 Declaração das variáveis

Adubos cadastrados: A, B, C, D, E, F, ...

Quantidades de adubos: a, b, c, d, e, f, ...

Fórmula dos adubos: $n_A - p_A - k_A$, $n_B - p_B - k_B$...

Fórmula necessária: $N_0 - P_0 - K_0$

Fórmula depois de calculado o 1^o adubo: $N_1 - P_1 - K_1$;

Fórmula depois de calculado o 2^o adubo: $N_2 - P_2 - K_2$;

Fórmula depois de calculado o n^o adubo: $N_n - P_n - K_n$;

Ordem dos adubos: O(A), O(B), O(C), ..., O(N)

$$O(A) = \frac{|n_A - p_A| + |n_A - k_A| + |p_A - k_A|}{n_A + p_A + k_A} \quad (\text{Eq. 30})$$

Os fertilizantes com menor valor de O() são os que serão utilizados preferencialmente para o fornecimento das quantidades dos nutrientes desejadas, porém o programa permite que o usuário opte por fertilizantes com O() maior.

Em seguida, os adubos são ordenados em ordem crescente, sendo agora renomeados na seguinte ordem: $A_1, A_2, \dots, A_n$. E as quantidades dos respectivos adubos serão renomeados para $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$.

3.1.4.2 Cálculo dos adubos

Para cada conjunto de adubos pré-selecionados (por tentativa) será gerado um arquivo temporário, e depois de “n” tentativas solicitadas, será mostrado um quadro resumo, onde, o cliente toma a decisão, escolhendo a opção que o deseja, gravando em seguida.

O Cálculo da quantidade de cada adubo, que irá satisfazer as quantidades dos nutrientes requeridas, para cada conjunto de fertilizantes pré-selecionados, será feito conforme seqüência:

Para $i = 1, 2, 3, \dots, n$

$$\text{Se } n_i > 0, \quad a_{i_n} = \frac{100 \cdot N_{i-1}}{n_1}, \text{ senão } 1000000 \quad (\text{Eq. 31})$$

$$\text{Se } p_i > 0, \quad a_{i_p} = \frac{100 \cdot P_{i-1}}{p_1}, \text{ senão } 1000000 \quad (\text{Eq. 32})$$

$$\text{Se } k_i > 0, \quad a_{i_k} = \frac{100 \cdot K_{i-1}}{k_1}, \text{ senão } 1000000 \quad (\text{Eq. 33})$$

Assim,

$$a_i = \text{MÍNIMO} (a_{i_n}, a_{i_p}, a_{i_k}) \quad (\text{Eq. 34})$$

Sendo n_i, p_i e k_i = o teor de N, P e K no adubo de ordem “i”.

O cálculo das fórmulas após o i-ésimo adubo selecionado ($N_i - P_i - K_i$)

Para $i= 1,2,3,..., n$.

$$N_i = N_{i-1} - \frac{a_i \cdot N_i}{n_i} \quad (\text{Eq. 35})$$

$$P_i = P_{i-1} - \frac{a_i \cdot P_i}{p_i} \quad (\text{Eq. 36})$$

$$K_i = K_{i-1} - \frac{a_i \cdot K_i}{k_i} \quad (\text{Eq. 37})$$

Depois se verifica $N_n - P_n - K_n = 0 - 0 - 0$, se positivo, $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$. será gravado para aquela tentativa, caso contrário, será apresentada uma mensagem, dizendo que aqueles adubos pré-selecionados não podem ser utilizados, solicitando fazer outra tentativa.

Depois que as tentativas pré-selecionadas, calcula-se os seguintes, parâmetros que irão ser apresentados no relatório para escolha da melhor opção:

$$Preço = \sum_{i=1}^n p_i \cdot a_i \quad (\text{Eq. 38})$$

Índice de Salinidade

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^n IS_i \cdot a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (\text{Eq. 39})$$

Índice de Acidez

$$IA = \frac{\sum_{i=1}^n IA_i \cdot a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (\text{Eq. 40})$$

$$\text{Volume total dos adubos dissolvidos} = \sum_{i=1}^n V_i \quad (\text{Eq. 41})$$

Em que:

$$V_i = \frac{a_i \cdot 1,4}{SAFi} \quad (\text{Eq. 42})$$

Sendo p_i o preço do adubo “i”, IS_i é o índice de salinidade do adubo “i”, IA_i é o índice de acidez do adubo “i” e V_i volume total do adubo “i” dissolvido,

$SAFi$ é a solubilidade do adubo em água fria (10 a 15°C) e 1,4 é um fator de segurança.

Tempo mínimo de fertirrigação

$$tf_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{q_{inj\max}} \quad (\text{Eq. 43})$$

e

Tempo máximo de fertirrigação:

$$tf_{\max} = t_{irr} - t_{pr} - t_{lav} \quad (\text{Eq. 44})$$

Onde:

$q_{inj\max}$ é a vazão máxima do injetor, t_{irr} o tempo de irrigação, t_{pr} o tempo de pressurização do sistema e t_{lav} o tempo de lavagem.

Tempo de fertirrigação (tf): $tf_{\min} < tf < tf_{\max}$

Recomenda-se que o tempo da fertirrigação fique entre 40 a 70% do tempo de irrigação.

Volume mínimo dos adubos dissolvidos (V_i)

Selecionado os adubos a serem aplicados naquela área, ajusta-se o volume de solução estoque ou a vazão do injetor:

Cálculo do tempo de fertirrigação (tf), em minutos

Entrar com o tempo mínimo sem fertirrigação = tempo para pressurizar o sistema mais o tempo para limpeza do sistema (20 a 40 minutos – $t_{\min}$).

$$t_f = \text{MÍNIMO}[0,60T_{irr}, (T_{irr} - t_{\min})] \quad (\text{Eq. 45})$$

3.1.4.3 Opções para controlar a fertirrigação

Para controlar a fertirrigação, o sistema sugere as seguintes opções para a seleção de apenas uma pelo operador: ajustar o volume e ajustar a vazão.

a) Ajustando o volume da solução estoque

$V_T - t_f \cdot q_{INJ}$, tem que ser maior do que ΣV_i , caso contrário, só outro injetor.

b) Ajustando a vazão do injetor (q_{inj}):

$$q_{inj} = \frac{\sum V_i}{t_j} \quad (\text{Eq. 46})$$

c) Cálculo do kc(d) em função do dia (idade):

$$\text{Para } D \leq D(I), Kc = Kc(I) \quad (\text{Eq. 47})$$

$$\text{Para } D(I) < D \leq D(II), Kc = Kc(I) + \frac{D(II) - D}{D(II) - D(I)} \cdot (Kc(II) - Kc(I)) \quad (\text{Eq. 48})$$

$$\text{Para } D(II) < D \leq D(III), Kc = Kc(III) \quad (\text{Eq. 49})$$

$$\text{Para } D > D(III), Kc = Kc(III) + \frac{D(IV) - D}{D(IV) - D(III)} \cdot (Kc(IV) - Kc(III)) \quad (\text{Eq. 50})$$

Calcula-se a necessidade de irrigação diária por:

$$Nut_{Total\ exportado}(f) = \frac{Q_c(f) \times Q_{plantas}}{1.000} \quad (\text{Eq. 51})$$

3.2 Desenvolvimento das funções que definem os nutrientes Totais Exportados pelas culturas para o sistema em função da produtividade

O modelo das curvas de totais exportados em N-P-K relacionados à produtividade almejada foi feito conforme recomendação de Vivancos (1999) para a produção agrícola, relacionando total exportado = f(produtividade almejada) por curva polinomial do segundo grau. Para confrontar a eficiência desse modelo aos demais, foram testados outros modelos para relacionar Quantidade de Nutriente (g planta^{-1}) = f(produtividade (Mg ha^{-1})) e Quantidade de Nutriente (g planta^{-1}) = f(produtividade (kg planta^{-1})).

As melhores curvas acima reveladas foram confrontadas ao modelo da derivada primeira do polinômio do segundo grau, também proposto pelo mesmo autor, em que se relaciona Quantidade do Nutriente (kg Mg^{-1}) = f(produtividade (Mg ha^{-1})) e, acrescentado ainda, o modelo que relaciona Quantidade do Nutriente (kg Mg^{-1}) = f(produtividade (kg planta^{-1})) para polinômio do primeiro grau.

Em todos os casos acima descritos, as curvas foram obtidas tanto para dados de produção total, quanto para dados de produção comercial, para cada cultura estudada.

Para se determinar as equações de regressão dos nutrientes N – P – K por essa proposição, foram usados dados dos totais exportados segundo Cecílio Filho & Grangeiro (2004c) para a melancia var. Palomar, Cecílio Filho & Grangeiro (2004d) para a melancia var. Shadow, Grangeiro & Cecílio Filho (2004) para a melancia var. Tide, Nunes (2004) para a melancia var. Mickylee, Serafim (2006) para a melancia var. Mickylee e Lima Júnior (2005) para as melancias vars. Crimson Sweet, Mickylee e o híbrido 92205 sem sementes. Já para melão utilizou-se dados de Lima (2001) para as variedades Gold Pride e Gold Mine, Vivancos (1996) para melão, Duarte (2002) para a var. Orange Flash e Trusty, Temóteo (2006) para Sancho cultivado sob diferentes níveis de N e K para os tratamentos N_1K_1 , e N_2K_2 e N_3K_3 (50%, 100% e 150% de N e K recomendado para o melão), Silva Júnior (2006) para a variedade Pele-de-Sapo e Bar-Yosef (1999) para o tipo Gália.

A determinação dos dados e a obtenção das curvas de produtividade X quantidade do nutriente (g planta^{-1} ou kg Mg^{-1}) para cada cultura foram realizadas seguindo o procedimento adotado por Paula et al. (2006). Para a transformação das quantidades líquidas de nutrientes obtidos pelas curvas produtividade X quantidade do nutriente (g planta^{-1} ou kg Mg^{-1}) para kg ha^{-1} , o sistema adotou o seguinte procedimento:

a) Transformação dos nutrientes de g planta^{-1} ou kg Mg^{-1} para kg ha^{-1}

$$Nut_{Total\ exportado}(f) = \begin{cases} \frac{10 \times Q_{Cg}(f)}{E_{el} \times E_{epls}}, & \text{se nutrientes em g planta}^{-1}; \\ Q_{Ckg}(f) \times R_{almejado}, & \text{se nutrientes em kg Mg}^{-1}. \end{cases} \quad (\text{Eq. 52})$$

Onde:

$Nut_{Total\ exportado}(f)$ – quantidade líquida a exportar do nutriente ($N_{Total\ exportado}$ para N, $P_{Total\ exportado}$ para P ou $K_{Total\ exportado}$ para K) para uma produtividade almejado adotada no sistema (kg ha^{-1});

$Q_{Cg}(f)$ – quantidade líquida a exportar do nutriente (N_{Cg} para N, P_{Cg} para P ou K_{Cg} para K) obtida pela curva produtividade vs. quantidade do nutriente (g planta^{-1}) para uma produtividade almejado adotada no sistema (g planta^{-1});

E_{el} – espaçamento entre linhas usado para a cultura dimensionada no sistema (m);

E_{epls} – espaçamento entre plantas nas linhas para a cultura dimensionada no sistema (m);

$Q_{Ckg}(f)$ – quantidade líquida a exportar do nutriente (N_{Ckg} para N, P_{Ckg} para P ou K_{Ckg} para K) obtida pela curva produtividade vs. quantidade do nutriente (kg Mg^{-1}) para cada unidade de rendimento almejado adotada no sistema (kg Mg^{-1});

R_{almejado} – produtividade almejada no dimensionamento do sistema (Mg ha^{-1});

O sistema executa a equação 52 para os casos em que a produtividade almejada estiver dentro da faixa estabelecida pelas curvas de produtividade X quantidade do nutriente de cada cultura a que ele se propõe a dimensionar ($R_{\text{Min}} \leq R_{\text{almejado}} \leq R_{\text{Max}}$). Fora dessa faixa, os valores das quantidades líquidas de nutrientes exportados são encontrados através de uma proporção simples entre dados de totais exportados e rendimentos médios obtidos pelas curvas médias adotados no sistema e os rendimentos almejados para as respectivas culturas.

Para a determinação das quantidades semanal/diária de nutrientes aplicadas na adubação/fertirrigação do melão e da melancia utilizou-se uma curva média obtida entre variedades que deram origem as equações das curvas total exportado vs. produtividade utilizadas no sistema, para micro-períodos igualmente espaçados entre as variedades para as quais se determinou as equações que calibram os totais exportados em N, P e K, das respectivas culturas, à produtividade almejada conforme recomendações propostas por Montag (1999).

3.3 Exemplo de aplicação do sistema

Para avaliar a eficiência do sistema, assumiu-se dados médios comuns aos das áreas cultivadas com melão e melancia analisados pelo Laboratório de solos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, e além dos dados que correspondem aos das áreas dos experimentos com melão e com melancia (Anexo H), totalizando 8 exemplos para o nutriente K ($K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8$), 2 exemplos para o nutriente P (P_1 e P_2) e 1 exemplo para o nutriente N (N_1) para cada cultura. Adotou-se também como produtividade almejada para melão e melancia, respectivamente, 36 e 28 Mg ha^{-1} .

3.4 Verificação e validação do sistema computacional

3.4.1 Área experimental

O trabalho em campo foi realizado na região produtora de melão e melancia localizada no Agropólo Assú/Mossoró-RN, no período de 10/2005 a 03/2006, onde o período de ciclo das culturas ocorreu como segue: de 15 de outubro a 24 de dezembro de 2005, conduziu-se o experimento com melão e de 25 de outubro de 2005 a 04 de janeiro de 2006, conduziu-se o

experimento com melancia. Foram estudados quatro doses de N e K, 0, 50%, 100% e 150% das doses calculadas para esses nutrientes pela metodologia utilizada no programa computacional.

Na figura 1 encontram-se os dados climáticos referentes ao período de condução dos experimentos, obtidos na estação meteorológica do Departamento de Ciências Ambientais da UFERSA. Os dados revelaram valores médios para a temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento a 10m de altura e evapotranspiração para as culturas exploradas de, respectivamente, 29,11°C, 62,85%, 6,13 m s⁻¹ e 7,32 mm dia⁻¹.

As análises laboratoriais de solo do experimento com melão revelaram que: se trata de um solo com textura franco-arenosa, apresentando na camada de 0-20 apresentando as seguintes características químicas: pH=5,8, Ca=2,68, Mg=1,20, K=0,18, Na=0,04, Al=0,05, H = 1,04 cmol_c dm⁻³ e P=14 mg dm⁻³. A água utilizada na irrigação foi proveniente de fonte de rio perenizado, e apresentou as seguintes características químicas: CE (dS m⁻¹)=1,39, pH=8,10, Ca=4,45, Mg=3,60, K=0,14 Na=6,00, Cl=8,10, HCO₃=5,05, CO₃=0,70 (mmol_c L⁻¹), similar as águas de poços que exploram o aquífero calcário.

Já para o experimento com melancia, as mesmas análises revelaram que o solo tem textura franco-arenosa, com a camada de 0-20 apresentando as seguintes características químicas: pH=8,2, Ca=4,35, Mg=0,7, K=0,41, Na=0,285, Al=0,0 cmol_c dm⁻³ e P=120,00 mg dm⁻³. A água utilizada na irrigação foi proveniente de poço artesiano, e apresentou as seguintes características químicas: CE (dS m⁻¹)=0,55, pH=8,00, Ca=2,0, Mg=0,9, K=0,40 Na=2,87, Cl=1,8, HCO₃=4,0, CO₃=0,20 (mmol_c L⁻¹).

As áreas foram irrigadas através de sistema de gotejamento, com dose de rega diária determinada pela reposição integral da evapotranspiração determinada pela equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), monitorando a umidade do solo através de baterias de tensiômetros instalados nas parcelas em diferentes profundidades.

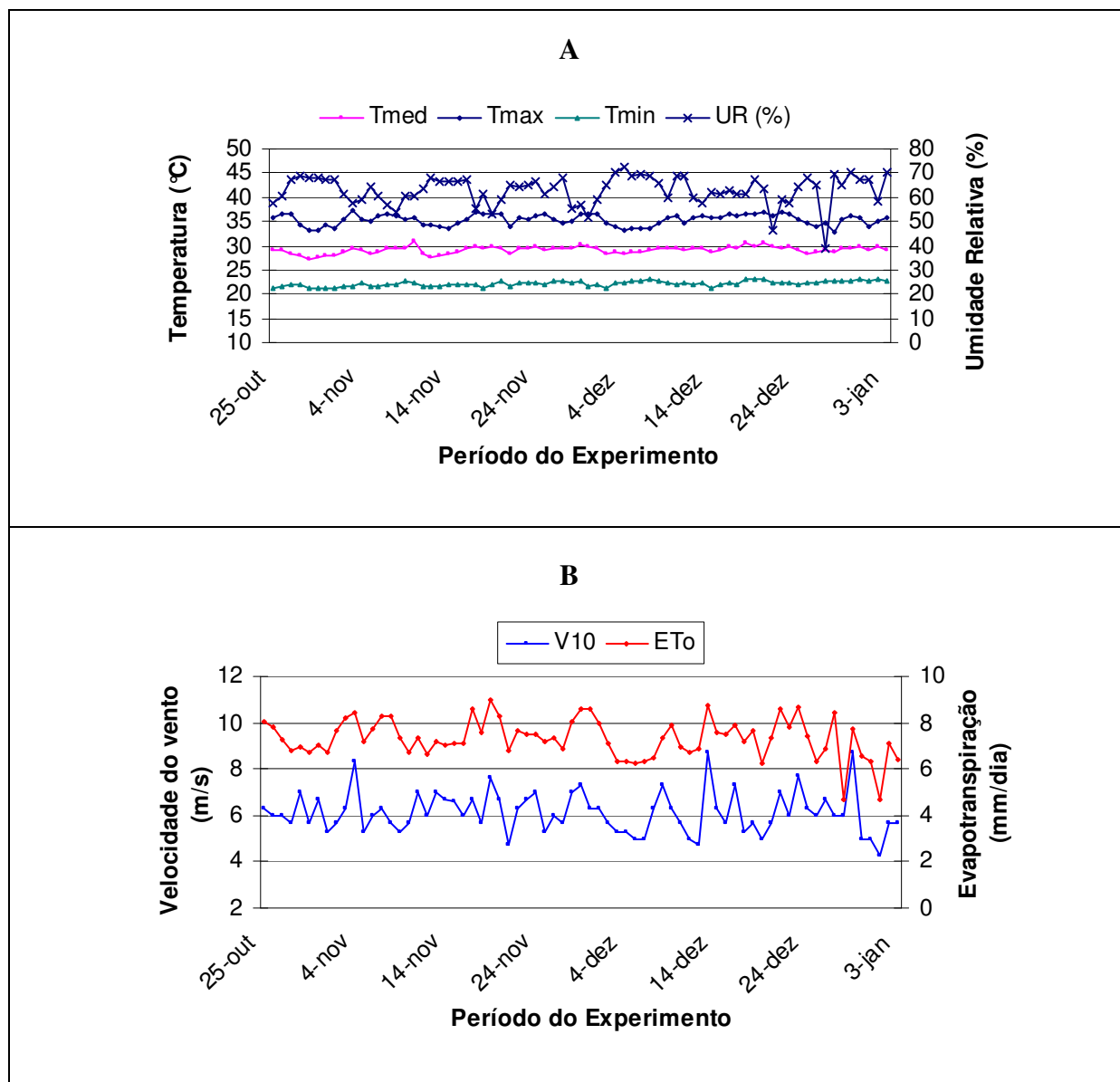


Figura 1 - Dados de temperatura, em °C, e umidade relativa do ar, em %, (A) e de velocidade do vento a 10m de altura, em m s^{-1} , e evapotranspiração das culturas, em mm dia^{-1} , (B) referentes ao período de condução dos experimentos, obtidos na estação meteorológica do Departamento de Ciências Ambientais da UFRSA.

3.4.1.1 Unidade experimental e delineamento estatístico

Para o experimento com melão, feito com a cultivar tipo Gália Solar net, utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com três repetições e cada parcela correspondeu a uma fileira de 9 m. Os tratamentos contaram da combinação da dose de N (42, 84 e 126 kg ha^{-1}) e de K (106, 212 e 322 kg ha^{-1}) sendo, N_2 (84 kg ha^{-1}) e K_2 (212 kg ha^{-1}) as doses intermediárias as recomendadas por Crisóstomo et al. (2002), aplicado via fertirrigação, mais três tratamentos adicionais (N_0K_0 , N_0K_2 e N_2K_0 , com N_0 e K_0 denotando doses zero) arranjados no

esquema fatorial $3 \times 3 + 2$. A adubação de fundação da área experimental do melão constou da aplicação de 108 kg ha^{-1} de superfosfato simples e 162 kg ha^{-1} de monoamônico fosfato (MAP, 10-52-00), totalizando 102 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o complemento nutricional do fósforo foi realizado via fertirrigação utilizando-se ácido fosfórico, no total de 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Os adubos aplicados na fertirrigação foram: cloreto de potássio, sulfato de potássio, uréia, ácido nítrico, nitrato de magnésio e ácido fosfórico. O espaçamento utilizado foi $1,85 \times 0,40 \text{ m}$.

Para o experimento com melancia, feito com a cultivar tipo Mickylee, adotou o mesmo delineamento experimental (em blocos casualizados) em esquema fatorial $3 \times 3 + 2$, com três repetições, sendo cada parcela experimental constituída de três fileiras de $12,0 \text{ m}$ de comprimento e $2,0 \text{ m}$ de espaçamento, totalizando $72,0 \text{ m}^2$. Os tratamentos resultaram da combinação de três doses de nitrogênio, N_1 (45 kg ha^{-1}), N_2 (91 kg ha^{-1}) e N_3 (136 kg ha^{-1}) e três doses de potássio, K_1 (78 kg ha^{-1}), K_2 (156 kg ha^{-1}) e K_3 (234 kg ha^{-1}), além de dois tratamentos adicionais: ($\text{N}_0 \text{ K}_2$ e $\text{N}_2 \text{ K}_0$), sendo N_2 e K_2 a dose recomendada para fertilização e N_0 e K_0 sem a aplicação N e K, respectivamente. O preparo do solo constou de aração e gradagem, seguido do sulcamento em linhas, espaçadas de $2,0 \text{ m}$ com profundidade de $0,3 \text{ m}$, onde se aplicou composto orgânico Poli Fértil[®] nos sulcos na quantidade de 4 t ha^{-1} . A adubação fosfatada foi de 50 kg ha^{-1} na forma de superfosfato simples, levando-se em consideração a análise química do solo. A adubação de cobertura foi realizada via fertirrigação nas formas de uréia, ácido nítrico, nitrato de cálcio, cloreto de potássio e sulfato de potássio. A quantidade de nitrogênio e potássio variou de acordo com o tratamento. A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido para 128 mudas, preenchidas com substrato comercial Goldmix 47[®]. O transplântio foi realizado aos 14 dias após a semeadura, quando as mudas apresentavam duas folhas definitivas, no espaçamento $2,0 \times 0,50 \text{ m}$.

Os resultados obtidos, em ambos os experimentos, foram submetidos às análises de variância e de regressão, utilizando-se o procedimento de análise sequencial para o modelo polinomial completo para superfície de resposta contido no software SAEG versão 8.0 (RIBEIRO JÚNIOR, 2001). Incluíram-se no modelo os coeficientes de maior grau ou de interação que fosse significativo a pelo menos 5% de probabilidade.

3.4.1.2 Parâmetros avaliados e análises laboratoriais

Em ambos os experimentos foram avaliados a produtividade e nutrientes (N e K) absorvidos pelas culturas, porém somente para o melão analisou-se parâmetros de qualidade

(sólidos solúveis totais, acidez total titulável e firmeza de polpa). Os procedimentos das análises de produtividade e qualidade transcorreram da seguinte forma: após a colheita dos frutos (63 dias após semeadura), no local da colheita foram analisados o peso médio do fruto, número de frutos por planta e produção total. Em seguida os frutos foram transportados para o laboratório de pós-colheita da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), onde se determinou o teor de sólidos solúveis ($BRIX_1$) e em seguida os frutos foram armazenados em câmara fria, com temperatura de 6 °C e umidade relativa de 95%, que após 21 dias foi realizada nova análise para determinações de teor de sólidos solúveis totais ($BRIX_2$), firmeza de polpa e perda de peso.

A medição do teor de sólidos solúveis (SST) em laboratório foi determinado por leitura em refratômetro digital Atago, modelo PR – 100, com escala variando de 0 até 45%, com compensação automática de temperatura, tomando duas gotas do filtrado após homogeneização das fatias dos frutos em liquidificador, e registrado com precisão de 0,1 a 25 °C conforme AOAC (1992). Para o método de campo, foi utilizado para a medição do SST gotas de suco provenientes de uma fatia não triturada do fruto. A leitura foi feita em refratômetro de modelo semelhante ao utilizado para a medição em laboratório. Os resultados foram expressos em percentagem (°Brix). A firmeza da polpa foi determinada pela resistência à penetração utilizando-se penetrômetro McCormick modelo FT 327, com valor máximo de leitura 30 lb/pol² e haste de ponta cilíndrica de 8 mm de diâmetro. O fruto foi dividido longitudinalmente em duas partes, sendo que em cada uma delas procederam-se duas leituras na região mediana da polpa para estimativa da firmeza. Os resultados foram obtidos em lb/pol² e convertidos para Newton (N) pelo fator 4,45. E a perda de massa foi determinada em balança semi-analítica (marca BEL, modelo Mark 3.100) calculada em percentagem, considerando-se a diferença entre a massa inicial do fruto em cada intervalo de amostragem.

Para os nutrientes absorvidos pelas culturas, as análises laboratoriais foram realizadas no laboratório de solos do departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), tendo-se o seguinte procedimento: Para determinação da matéria seca, as amostras foram mantidas em estufa de circulação forçada com temperatura regulada para 65-70°C, até que fosse obtido peso constante (três a quatro dias) em balança eletrônica com precisão de 0,01 g. Na determinação dos teores dos nutrientes, utilizou-se 0,2 g da matéria seca que foi digerida utilizando-se ácido sulfúrico, peróxido de hidrogênio, sulfatos de sódio e de cobre e selênio (TEDESCO et al.,1995). Quantificou-se o nitrogênio total através da destilação por arrasto de vapores, o fósforo por espectrofotometria e o potássio por fotometria de emissão de chama conforme recomendado por Silva (1999).

A partir desses dados determinaram-se os melhores tratamentos para a melancia e melão, onde foi comparado com os níveis que o sistema recomendou para as mesmas condições de solo e as exigências de fertilidade do solo para as duas culturas.

3.4.2 Validação do sistema computacional

Para a confirmação da eficiência do sistema, os dados obtidos a partir da simulação deste as condições de campo, foram confrontados com os resultados dos experimentos de campo realizados com o objetivo de estudar doses de N e K aplicados na adubação/fertirrigação na produção e qualidade das plantas de melão e da melancia.

O teste utilizado para medir a eficiência foi o Índice de Concordância – “d” (Willmott et al., 1985, Apud TEIXEIRA et al., 2005). Utilizou-se no teste somente os tratamentos dos experimentos de campo comuns às duas culturas, ou seja, N_1K_1 , N_2K_2 , N_3K_3 , N_2K_0 e N_0K_2 .

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Equações de calibração entre produtividade e quantidade do nutriente

4.1.1 Função de resposta média entre nutriente exportado e produtividade

Para ambas as culturas foram obtido as equações determinadas apenas com os dados de produtividades totais, já que se constatou uma baixa quantidade de dados na literatura apresentando informações com produtividade comercial (produção tipo exportação). Além disso, tentativas em se obter tais equações com os poucos dados existentes (dados de produtividades comerciais do melão), resultaram em baixos coeficientes de determinação (R^2).

Para a melancia, obteve-se no ajustamento das equações, resultados satisfatórios com a utilização da totalidade dos dados coletados na literatura (oito dados). Para o melão não foi possível obtenção das curvas com a totalidade dos dados coletados (onze dados), já que no trabalho de Temoteo (2006) não existiam dados de fósforo, e não foi possível obter-se dados de Vivancos (1996) quando se relacionou totais exportados (g planta^{-1}) = $f(\text{produtividade (kg planta}^{-1})$), sendo então eliminados uma quantidade total de dados para N, P e K de 2, 5 e 2, respectivamente, ficando para estes nutrientes 9, 6 e 9 dados (tabelas 2 a 4).

Do total de curvas encontradas para o modelo (tabelas 2 a 4), as que melhor representaram o modelo foram as que relacionam totais exportados (g planta^{-1}) = $f(\text{produtividade, kg planta}^{-1})$ através de polinômio do 1º grau, sendo estas as adotadas para a nutrição de N, P e K tanto da melancia quanto do melão.

A melhor relação para g planta^{-1} X kg planta^{-1} demonstra que há interferência da quantidade de nutrientes aplicados para diferentes espaçamentos aplicados na linha e entre linhas das plantas para as culturas estudadas. E que, não houve diferenças estatísticas para os coeficientes de determinação da reta (R^2) entre as equações polinomiais do primeiro e segundo grau no intervalo de produtividade estudado. Sendo neste caso adotada a relação polinomial do 1º grau pela maior simplicidade. Demonstrando ainda discordância com Vivancos (1999) que afirma haver uma relação polinomial do segundo grau entre os parâmetros estudados.

De maneira geral, pode-se afirmar que as equações que determinaram os totais exportados em função da produtividade almejada para melancia e melão, para o modelo proposto, demonstraram coeficientes de determinação para (R^2) altos, já que conforme afirmam Banzatto & Kronka (1995), na prática, quando se observa tais coeficientes iguais ou superiores a 0,7, pode-se assim considerá-los (tabelas 2 a 4).

4.1.2 Equações da marcha de absorção média obtida para a nutrição semanal/diária dos totais exportados

Os resultados encontrados na obtenção da marcha de absorção média para a nutrição semanal/diária das culturas abrangidas no sistema (tabela 5), no geral foram satisfatórios, já que para os totais exportados médios para os nutrientes estão dentro do permitido (CRISÓSTOMO et al., 2002; GRANGEIRO et al., 2004), além da distribuição de seus teores para cada ciclo, apresentarem-se concentrados em períodos onde a maior demanda destes é essencial (a partir da 5ª SAP) conforme afirmam alguns autores (BAR-YOSEF, 1999; FERNANDES & PRADO, 2003; DUARTE, 2002), podendo-se ainda serem feitos ajustes localizados já que o sistema dá ao operador a opção de seleção entre adotar a marcha desenvolvida ou entrar com outra que melhor se adapte as suas condições.

4.2 Resultados obtidos da aplicabilidade do sistema

Os resultados comprovaram que, para as 8 situações distintas testadas para K no sistema, 3 para o melão, apresentaram situações semelhantes de resultados, respectivamente, para as quantidades totais dimensionadas para adubação de fundação e de cobertura, ou seja, $ST_FK = 0,7 \times K_{\text{total exportado}} - Q_{as}K$ e $ST_{CK} = 0,3 \times K_{\text{total exportado}} - Q_{as}K$, o que comprova a sua eficiência em aplicar o teste, já que limita a soma entre $ST_F(f)$ e $ST_C(f)$, a no máximo, o valor total exportado para cada cultura, por mais que os níveis de segurança encontrados no sistema revelem valores superiores para as situações analisadas (tabela 6).

Alem disso, comprovou eficiências semelhantes, no balanceamento dos nutrientes entre o que o solo fornece e o que é exportado a planta ($ST_{FC}(f)$ e $ST_{CFert}(f)$) iguais a 0, para os exemplos do cálculo de P_2 das tabelas 6 e 7, do cálculo de K_4 , K_6 e K_8 da tabela 6 e do cálculo de K_1 a K_8 da tabela 7).

O sistema calculou as quantidades dos fertilizantes semanalmente para as culturas estudadas segundo a marcha de absorção conforme tabela 8. Isso simplifica de modo

significativo a adubação pelo produtor. Além do sistema permitir o cálculo de fertilizantes para qualquer fonte disponível ao produtor.

Tabela 2 – Equações* das curvas de calibração dos Totais exportados X produtividade da melancia e do melão para o modelo de nutrição de N.

Cultura	Relação	Numero de dados	Equações do total exportado de N	Coefficiente (R^2)
Melão	(g/planta) X (kg/planta)	9 **	$y = 5,8952x - 8,2243$	0,9673
	(g/planta) X (kg/planta)	9	$y = -0,5756x^2 + 10,625x - 16,627$	0,9766
	(g/planta) X (Mg/ha)	9	$y = 0,399x - 3,9601$	0,4543
	(g/planta) X (Mg/ha)	9	$y = -0,0007x^2 + 0,5158x - 6,7481$	0,5354
	(kg/Mg) X (kg/planta)	9	$y = 0,638x + 0,9675$	0,7006
	(kg/Mg) X (Mg/ha)	9	$y = 0,0726x + 0,6758$	0,7429
Melancia	(g/planta) X (kg/planta)	8 **	$y = 1,202x + 0,8979$	0,7213
	(g/planta) X (kg/planta)	8	$y = -0,1695x^2 + 4,8081x - 14,323$	0,8713
	(g/planta) X (Mg/ha)	8	$y = -0,185x + 19,978$	0,1666
	(g/planta) X (Mg/ha)	8	$y = -0,0136x^2 + 0,9863x - 2,0403$	0,2677
	(kg/Mg) X (kg/planta)	8	$y = 0,011x + 1,1386$	0,0154
	(kg/Mg) X (Mg/ha)	8	$y = 0,0032x + 1,2301$	0,0169

* - onde y representa os valores de cada nutriente e x os valores de produtividade;

** - são as curvas de N selecionadas para o modelo.

4.3 Resultados obtidos nos experimentos de campo

A produtividade do experimento com melão variou de 18,44 (N_0K_0) a 30,94($N_3 K_3$). A análise de regressão (Tabela 9) indica que houve efeito significativo apenas para componente linear da dose de nitrogênio, com o rendimento crescendo com a dose de N. Coelho et al. (2001) verificou efeito semelhante tanto para o N como para o K, estudando doses de até 180 de N e 340 kg ha⁻¹ de K₂O em solo com teor de K no solo de 0,16 cmol_c kg⁻¹ em cultivo de melão do tipo amarelo.

O teor de $0,18 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de K presente no solo pode ser também uma provável justificativa na produtividade do melão verificada no trabalho, justificativa também feita por Dutra (2005) para o melão tipo pele de sapo.

O peso médio de frutos, os valores variaram entre 0,70 (N_0K_2) e 0,83 (N_2K_3), Tabela 9. O peso médio requerido pelo mercado deve ficar entre 0,8 e 1,0 kg, tipos 5 e 6, em caixa de 5,0 kg. Através da análise de regressão verificou-se efeito quadrático para o nitrogênio significativo no nível de 1% de probabilidade, com dose ótima de 112 kg ha^{-1} , e linear para o potássio no nível de 5% de probabilidade, quando seu acréscimo proporcionou uma redução no peso médio do fruto.

Tabela 3 – Equações* das curvas de calibração dos Totais exportados X produtividade da melancia e do melão para o modelo de nutrição de P.

Cultura	Relação	Numero de dados	Equações do total exportado de P	Coefficiente (R^2)
Melão	(g/planta) X (kg/planta)	6 **	$y = 1,235x - 1,9479$	0,9397
	(g/planta) X (kg/planta)	6	$y = 0,1088x^2 + 0,3334x - 0,2998$	0,9490
	(g/planta) X (Mg/ha)	6	$y = 0,0843x - 0,64$	0,4877
	(g/planta) X (Mg/ha)	6	$y = 0,0007x^2 + 0,0214x + 0,5836$	0,4904
	(kg/Mg) X (kg/planta)	6	$y = 0,1273x + 0,1747$	0,7340
	(kg/Mg) X (Mg/ha)	6	$y = 0,0064x + 0,437$	0,2205
Melancia	(g/planta) X (kg/planta)	8 **	$y = 0,0475x + 0,508$	0,6785
	(g/planta) X (kg/planta)	8	$y = -0,001x^2 + 0,0686x + 0,4187$	0,6816
	(g/planta) X (Mg/ha)	8	$y = -0,0136x + 1,5219$	0,7073
	(g/planta) X (Mg/ha)	8	$y = -0,0003x^2 + 0,0118x + 1,0455$	0,7446
	(kg/Mg) X (kg/planta)	8	$y = -0,0076x + 0,1947$	0,6186
	(kg/Mg) X (Mg/ha)	8	$y = -0,0002x + 0,1305$	0,0065

* - onde y representa os valores de cada nutriente e x os valores de produtividade;

** - são as curvas de P selecionadas para o modelo.

Tabela 4 – Equações* das curvas de calibração dos Totais exportados X produtividade da melancia e do melão para o modelo de nutrição de K.

Cultura	Relação	Numero de dados	Equações do total exportado de K	Coefficiente (R ²)
Melão	(g/planta) X (kg/planta)	9 **	$y = 4,5784x + 2,6016$	0,7085
	(g/planta) X (kg/planta)	9	$y = 0,835x^2 - 2,2827x + 14,79$	0,7322
	(g/planta) X (Mg/ha)	9	$y = 0,3283x + 5,7113$	0,3316
	(g/planta) X (Mg/ha)	9	$y = 0,0055x^2 - 0,0064x + 8,4609$	0,5486
	(kg/Mg) X (kg/planta)	9	$y = -0,266x + 6,3939$	0,0698
	(kg/Mg) X (Mg/ha)	9	$y = 0,0556x + 3,235$	0,2360
Melancia	(g/planta) X (kg/planta)	8 **	$y = 1,934x + 3,0964$	0,7180
	(g/planta) X (kg/planta)	8	$y = -0,193x^2 + 6,0394x - 14,232$	0,7927
	(g/planta) X (Mg/ha)	8	$y = -0,0919x + 24,941$	0,0173
	(g/planta) X (Mg/ha)	8	$y = -0,019x^2 + 1,5377x - 5,6939$	0,0993
	(kg/Mg) X (kg/planta)	8	$y = 0,0126x + 2,0288$	0,0031
	(kg/Mg) X (Mg/ha)	8	$y = 0,0372x + 0,8462$	0,3890

* - onde y representa os valores de cada nutriente e x os valores de produtividade;

** - são as curvas de K selecionadas para o modelo.

Tabela 5 – Curvas de absorção média utilizadas no sistema para a adubação/fertirrigação das plantas.

Semanas Após o Plantio (SAP)	Melão			Melancia		
	N	P	K	N	P	K
1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2	0,01%	1,07%	0,01%	0,65%	1,20%	0,07%
3	5,76%	6,49%	0,72%	1,94%	5,11%	1,35%
4	6,87%	10,82%	4,42%	8,96%	9,40%	5,50%
5	10,12%	13,90%	10,58%	16,87%	20,77%	20,39%
6	17,11%	17,31%	18,98%	24,84%	26,08%	33,18%
7	22,54%	20,84%	22,40%	30,88%	21,47%	28,55%
8	22,06%	17,54%	18,32%	15,87%	15,97%	10,96%
9	12,35%	11,48%	16,68%	0,00%	0,00%	0,00%
10	3,19%	0,55%	7,89%	0,00%	0,00%	0,00%
Totais exportados (kg ha ⁻¹)	123,18	31,35	248,78	134,77	11,71	239,16
Produtividade:						
Média (Mg ha ⁻¹)		36,77			45,36	
Mínima. (Mg ha ⁻¹)*		21,98			32,20	
Máxima (Mg ha ⁻¹)**		60,00			39,35	

* - rendimento mínimo para os quais as equações das curvas produtividade X totais exportados estão definidos;

** - rendimento máximo para os quais as equações das curvas produtividade X totais exportados estão definidos.

Tabela 6 – Resultados do sistema para recomendações da adubação de fundação e cobertura do melão para produtividade almejada de 36 Mg ha⁻¹ e simulação dos exemplos de aplicação.

Variável	NUTRIENTE										
	N ₁ **	P ₁ **	P ₂ **	K ₁ *	K ₂ *	K ₃ *	K ₄ *	K ₅ *	K ₆ *	K ₇ *	K ₈ *
Q _{exp} (f) ¹ – kg ha ⁻¹	137,74	28,57	28,57	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84	201,84
Q _{as} (f) ² – kg ha ⁻¹	0,58	18,85	161,54	105,00	183,75	183,75	315,00	105,00	420,00	94,50	215,25
Q _{Metod} (f) - Q _{as} (f) ³ – kg ha ⁻¹	25,83	22,85	22,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Q _{solo} (f) - Q _{as} (f) ⁴ – kg ha ⁻¹	-	21,54	0,00	63,00	0,00	0,00	0,00	315,00	0,00	73,50	0,00
ST _F (f) ⁵ – (kg ha ⁻¹)	25,25	4,01	0,00	36,29	0,00	0,00	0,00	36,29	0,00	46,79	0,00
Níveis de segurança – kg ha ⁻¹	25,25	21,54	22,85	63,00	183,75	350,00	0,00	0,00	0,00	73,50	0,00
Q _{excesso} (f) ⁶ – kg ha ⁻¹	112,50	0,00	161,54	138,84	18,09	18,09	0,00	0,00	0,00	128,34	0,00
Q _{kH2O} ⁷ – kg ha ⁻¹	-	-	-	17,89	17,89	17,89	17,89	17,89	17,89	17,89	17,89
ST _C (f) ⁸ – kg ha ⁻¹	112,50	28,57	0,00	42,66	0,20	0,20	0,00	42,66	0,00	42,66	0,00
ST _{CFert} (f) ⁹ – kg ha ⁻¹	135,00	124,29	0,00	71,68	0,34	0,34	0,00	71,68	0,00	71,68	0,00
ST _{FC} (f) ¹⁰ – kg ha ⁻¹	31,56	20,19	0,00	69,67	0,00	0,00	0,00	69,67	0,00	89,83	0,00
K _{exigência solo} – cmol _c dm ⁻³	-	-	-	0,320 #	0,320 #	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320 #	0,320 #
K _{Ca:K} – cmol _c dm ⁻³	-	-	-	0,200	0,200	1,000 #	1,200 #	1,200 #	1,200 #	0,179	0,290
K _{CTC} – cmol _c dm ⁻³	-	-	-	0,172	0,178	0,518	0,596	0,620	0,644	0,172	0,172

* - valores de K obtidos no sistema para os exemplos de 1 a 6 e valores das análises de solos dos experimentos; ** - valores de N, P obtidos no sistema para os valores das análises de solos dos experimentos; # - teores de K selecionados para os níveis de segurança de fertilidade do solo para as situações de 1 a 7 adotados no sistema; 1 – É obtido através de regra de três simples entre o valor de produtividade alcançado pela curva de absorção estudada e o valor de produtividade desejado para a cultura; 2 – representa uma fração do total exportado pela cultura que deve ser aplicado em fundação recomendado por diversos autores; 3 – para P é obtido multiplicando-se o volume de solo explorado pela cultura numa área de 1,0 ha e a concentração exigida pela cultura para manter o nível de segurança, 30 mg kg⁻¹ (Papadopoulos, 1999), e para K, utiliza-se o valor de maior demanda das exigências da cultura dentre os testados (relação cálcio:potássio – 10:1, K na CTC – 4% e exigências da concentração K no solo, nível de segurança – 0,32 cmol_c kg⁻¹); 4 – Valores de nutriente repostos pela adubação de correção, item anterior, que fica acima do nível de segurança; 5 – diferenças entre as exigências das culturas e nutrientes contidos no solo acima do nível de segurança, que assume valor zero para valores de teores no solo maiores ou iguais aos níveis de segurança tanto para P₂O₅, quanto para K₂O; 6 – cálculo realizado apenas para a adubação com K₂O, já que para a adubação de fundação para esse elemento, o procedimento usa o teste de três parâmetros (conforme descrito no item 3), e nesse caso, a menor concentração desse nutriente no solo (nível de segurança mínimo) será sempre o valor da exigência da concentração do nutriente para a cultura no solo; 7 – para o fósforo é obtido pela diferença entre o total de nutriente em fundação e os níveis de segurança mínimo permitido no solo para o bom desenvolvimento da cultura, mas para o potássio, quando o valor determinado pela metodologia de Crisóstomo (2002) é superior ao item 5, subtrai-se o item 2 do 5 e o resultado é somado ao 6, porém quando isso não acontece, esse item assume o valor do item 6; 8 – é obtido pela subtração do item 1 e 7; 9 – é obtido pela subtração do item 8 e 9; 11 – é obtido pela conversão do item 10 com o fator de eficiência para a fertirrigação.

Tabela 7 – Resultados do sistema para recomendações da adubação de fundação e cobertura da melancia para produtividade almejada de 28 Mg ha⁻¹ e simulação dos exemplos de aplicação.

Variável	NUTRIENTE										
	N ₁ **	P ₁ **	P ₂ **	K ₁ *	K ₂ *	K ₃ *	K ₄ *	K ₅ *	K ₆ *	K ₇ *	K ₈ *
Q _{exp} (f) ¹ – kg ha ⁻¹	24,86	3,66	3,66	35,83	35,83	35,83	35,83	35,83	35,83	35,83	35,83
Q _{as} (f) ² – kg ha ⁻¹	0,52	16,75	143,56	93,31	163,30	163,30	279,94	93,31	373,26	83,98	191,29
Q _{Metod} (f) - Q _{as} (f) ³ – kg ha ⁻¹	4,66	2,93	2,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Q _{solo} (f) - Q _{as} (f) ⁴ – kg ha ⁻¹	-	19,14	0,00	55,99	0,00	0,00	0,00	279,94	0,00	65,32	0,00
ST _F (f) ⁵ – (kg ha ⁻¹)	4,14	2,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Níveis de segurança – kg ha ⁻¹	4,14	2,93	2,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Q _{excesso} (f) ⁶ – kg ha ⁻¹	20,72	0,00	143,56	35,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,83	0,00
Q _{kh2O} ⁷ – kg ha ⁻¹	-	-	-	21,27	21,27	21,27	21,27	21,27	21,27	21,27	21,27
ST _C (f) ⁸ – kg ha ⁻¹	20,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ST _{CFert} (f) ⁹ – kg ha ⁻¹	24,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ST _{FC} (f) ¹⁰ – kg ha ⁻¹	5,18	12,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K _{exigência solo} – cmol _c dm ⁻³	-	-	-	0,320 #	0,320 #	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320 #	0,320 #
K _{Ca:K} – cmol _c dm ⁻³	-	-	-	0,200	0,200	1,000 #	1,200 #	1,200 #	1,200 #	0,179	0,290
K _{CTC} – cmol _c dm ⁻³	-	-	-	0,172	0,178	0,518	0,596	0,620	0,644	0,172	0,172

* - valores de K obtidos no sistema para os exemplos de 1 a 6 e valores das análises de solos dos experimentos; ** - valores de N, P obtidos no sistema para os valores das análises de solos dos experimentos; # - teores de K selecionados para os níveis de segurança de fertilidade do solo para as situações de 1 a 7 adotados no sistema; 1 – É obtido através de regra de três simples entre o valor de produtividade alcançado pela curva de absorção estudada e o valor de produtividade desejado para a cultura; 2 – representa uma fração do total exportado pela cultura que deve ser aplicado em fundação recomendado por diversos autores; 3 – para P é obtido multiplicando-se o volume de solo explorado pela cultura numa área de 1,0 ha e a concentração exigida pela cultura para manter o nível de segurança, 30 mg kg⁻¹ (Papadopoulos, 1999), e para K, utiliza-se o valor de maior demanda das exigências da cultura dentre os testados (relação cálcio:potássio – 10:1, K na CTC – 4% e exigências da concentração K no solo, nível de segurança – 0,32 cmol_c kg⁻¹); 4 – Valores de nutriente repostos pela adubação de correção, item anterior, que fica acima do nível de segurança; 5 – diferenças entre as exigências das culturas e nutrientes contidos no solo acima do nível de segurança, que assume valor zero para valores de teores no solo maiores ou iguais aos níveis de segurança tanto para P₂O₅, quanto para K₂O; 6 – cálculo realizado apenas para a adubação com K₂O, já que para a adubação de fundação para esse elemento, o procedimento usa o teste de três parâmetros (conforme descrito no item 3), e nesse caso, a menor concentração desse nutriente no solo (nível de segurança mínimo) será sempre o valor da exigência da concentração do nutriente para a cultura no solo; 7 – para o fósforo é obtido pela diferença entre o total de nutriente em fundação e os níveis de segurança mínimo permitido no solo para o bom desenvolvimento da cultura, mas para o potássio, quando o valor determinado pela metodologia de Crisóstomo (2002) é superior ao item 5, subtrai-se o item 2 do 5 e o resultado é somado ao 6, porém quando isso não acontece, esse item assume o valor do item 6; 8 – é obtido pela subtração do item 1 e 7; 9 – é obtido pela subtração do item 8 e 9; 11 – é obtido pela conversão do item 10 com o fator de eficiência para a fertirrigação.

Tabela 8 – Distribuição ao longo do tempo das quantidades de fertilizantes a serem aplicados no melão e na melancia.

Cultura Explorada		Melão			Melancia		
Semanas de cultivo	Nutrientes	Uréia (kg ha ⁻¹)	MAP (kg ha ⁻¹)	KCl (kg ha ⁻¹)	Uréia (kg ha ⁻¹)	MAP (kg ha ⁻¹)	KCl (kg ha ⁻¹)
1		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2		0,02	2,70	0,01	0,36	0,00	0,00
3		17,48	16,39	0,76	1,07	0,00	0,00
4		20,83	27,33	4,71	4,95	0,00	0,00
5		30,68	35,11	11,27	9,32	0,00	0,00
6		51,88	43,72	20,22	13,72	0,00	0,00
7		68,36	52,65	23,86	17,06	0,00	0,00
8		66,93	44,31	19,51	8,77	0,00	0,00
9		37,47	28,99	17,76	0,00	0,00	0,00
10		9,66	1,39	8,40	0,00	0,00	0,00
Concentração da solução do adubo dissolvido (kg/L)		0,79	0,20	0,17	0,79	0,20	0,17

Dutra (2005) não verificou efeito significativo das doses de N e K no peso médio de frutos, embora houve uma tendência de aumento para as doses médias de N (140) e de K (260 kg ha⁻¹). Avaliando-se o número de frutos por planta verificam-se valores variando entre 2,12 (N₀K₀) e 3,66 (N₂K₁) unidades por planta, valores estes bem superiores aos verificados por Dutra (2005) para o melão pele de sapo, o que pode ser explicada pela característica da cultivar, que produz mais frutos por planta com tamanho pequeno. Através da análise de regressão constatou-se efeito significativo a 5% de probabilidade para o efeito linear da dose de N, quadrático da dose de K e do fator N²K. Para o melão pele de sapo, Dutra (2005) não verificou efeito significativo das doses de N e K no número de frutos por planta. No caso deste tipo de melão, normalmente a planta produz um fruto, e mais importante é o seu tamanho, diferente do melão tipo gália, onde o rendimento deve estar muito mais associado ao número de frutos, pois o mercado não requer frutos de calibre grande.

Para o mesmo experimento, com melão Gália, observou-se ainda que o teor de sólidos solúveis na colheita imediatamente após a colheita (BRIX 1) variou entre 11,50 (N₃K₃) e 13,08 (N₃K₁), com média de 12,43%. A análise de regressão (Tabela 11) indica que não houve efeito significativo nem para doses de N nem para doses de K, como também, para nenhuma interação dos fatores.

Tabela 9 Valores médios do experimento 1 (Melão Gália) ajustados para produtividade, peso médio do fruto e número de fruto por planta, em função de doses de potássio (K₂O) e nitrogênio (N).

Tratamentos	PRODUTIVIDADE (kg ha ⁻¹)	PESO MÉDIO DOS FRUTOS (kg)	NÚMERO DE FRUTOS POR PLANTAS
N ₀ K ₀	18,44	0,77	2,12
N ₂ K ₀	25,68	0,83	2,81
N ₁ K ₁	23,41	0,82	2,88
N ₂ K ₁	27,44	0,81	3,66
N ₃ K ₁	26,42	0,83	2,58
N ₀ K ₂	19,00	0,70	2,77
N ₁ K ₂	27,98	0,80	3,14
N ₂ K ₂	27,11	0,82	2,90
N ₃ K ₂	28,93	0,83	3,28
N ₁ K ₃	23,02	0,76	2,69
N ₂ K ₃	26,51	0,78	2,87
N ₃ K ₃	30,94	0,80	3,26
Média geral	25,41	0,80	2,91
$\text{PROD} = 20,3 + 0,0727^{**} \text{ N } (R^2 = 0,72) \quad \text{PM} = 0,748 + 0,00185^{**} \text{ N} - 0,000008252^{**} \text{ N}^2 - 0,000149^{*} \text{ K } (R = 0,77) \quad \text{NFPL} = 2,30 + 0,0184 \text{ N}^{*} - 0,0001625^{ns} \text{ N}^2 + 0,00443^{ns} \text{ K} - 0,00001713^{*} \text{ K}^2 + 0,0000002902^{*} \text{ N}^2 \text{ K } (R^2 = 0,64)$			

(**): significativo a 1%, (*) significativo a 5%, (ns) não significativo a 5% pelo teste t de Student.

O mesmo comportamento foi observado para os sólidos solúveis depois de 21 dias de armazenamento em câmara fria (BRX2), o qual apresentou uma variação entre os tratamentos de 10,80 (N₁K₁) a 12,33 (N₂K₂), com média de 11,59%. Estes valores de Brix estão acima do mínimo exigido para exportação, que é 9,0%.

Tabela 10 – Curva de Acúmulo de nutrientes obtida no experimento de Bom Jesus para o melão Gália.

Tratamento	N na planta (kg ha ⁻¹)		K na planta (kg ha ⁻¹)		Produtividade (kg ha ⁻¹)
	Obtido	Simulado	Obtido	Simulado	
N ₁ K ₁	46,82	55,76	89,26	133,20	23,41
N ₂ K ₂	81,76	77,58	140,84	150,14	27,11
N ₃ K ₃	118,45	100,15	164,79	167,67	30,94
N ₂ K ₀	51,91	69,15	92,21	143,59	25,68
N ₀ K ₂	55,99	55,17	146,12	132,74	23,31
N ₀ K ₀	29,84	60,83	80,19	92,33	18,44

O menor valor para sólidos solúveis entre as épocas pode ser devido a metodologia empregada – método de campo para primeira colheita e de laboratório para a segunda

(GRANGEIRO et al., 1999). DUTRA (2005) em trabalho semelhante, agora com melão pele de sapo, verificou efeito interativo de N e K nos sólidos solúveis do melão.

Para a firmeza de polpa, que variou entre 16,87 (N_2K_0) e 20,91 (N_3K_3), através da análise de regressão (Tabela 11) observou-se efeito significativo do componente linear da dose de K e das interações NK^2 e N^2K . Analisando-se a equação de regressão, verifica-se que as maiores doses de N e K proporcionaram maiores valores de Firmeza. Esses dados diferem de DUTRA (2005), que não encontrou efeito de N e K na firmeza de polpa do melão.

A perda de peso dos frutos durante o período de armazenamento, os valores entre os tratamentos variaram entre 3,72 e 6,46%. A análise de regressão demonstrou haver significância para a componente quadrática para N e K ao nível de significância de 1% de probabilidade. Analisando-se a equação de regressão ajustada, verificam-se menores perdas para as maiores doses de N e K.

Já no experimento com a melancia (tabela 12), a produtividade foi afetada pelas doses de N e K aplicada em fertirrigação de forma quadrática, segundo a função resposta, obtendo-se a produtividade máxima nas doses de $N=84$ e $K_2O=150 \text{ kg ha}^{-1}$. No entanto, a redução da produção verificada em doses de N e K acima daquela responsável pela produção máxima, foi possivelmente decorrente do desequilíbrio nutricional, proporcionado pelas maiores concentrações dos adubos nitrogenados e potássicos fornecidos a cultura. Experimento realizado, em Mossoró, RN, por Nunes (2004), utilizando melancia Mickylee fertirrigada com 120 kg ha^{-1} de N na forma de uréia e 240 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio, obtiveram uma produtividade média de 20 t ha^{-1} , inferior à média observada na região com essa cultivar (30 t ha^{-1}), em plantios mais tecnificados.

4.4 Comparação dos valores estimados pelo sistema com os obtidos nos experimentos de campo para o total de N e K absorvidos pelo melão e melancia

Os valores do índice de concordância “d” (WILLMOTT et al., 1995; Apud TEIXEIRA et al., 2005) revelaram uma perfeita concordância para a equação de K da melancia e aceitáveis para as equações de N e K do melão e N da melancia (tabela 13), já que conforme postula Teixeira et al. (2005), uma perfeita concordância entre a eficiência do sistema em relação aos parâmetros testados resultaria em $d = 1$, sendo ainda aceitáveis valores de $d \geq 0,7$. Embora os valores de “d” sejam aceitáveis para o melão, houve uma boa correlação entre os valores estimados e medidos nos experimentos de campo. Isso pode ser explicado, provavelmente, pela absorção de luxo desses nutrientes, quando as doses foram muito

elevadas. No caso da melancia observou-se elevados valores os totais exportados de N e K (tabela 13), revelando, neste caso, que houve uma maior interação dados obtidos e estimados para nutrição de N e K e um maior ajuste do sistema às situações locais.

Tabela 11 – Valores médios e modelos ajustados para o teor de sólidos solúveis totais na colheita (BR1X1), teor de sólidos solúveis totais pós-câmara fria (BR1X2), firmeza pós-câmara fria e perda de peso, em função de doses de potássio (K₂O) e nitrogênio (N), via fertirrigação.

Tratamentos	BR1X1 (%)	BR1X2 (%)	FRIMEZA DE POLPA (N)	PERDA DE PESO (%)
N ₀ K ₀	11,73	11,13	18,31	6,46
N ₂ K ₀	13,00	11,97	16,87	5,34
N ₁ K ₁	13,47	10,80	18,26	5,17
N ₂ K ₁	12,68	11,53	19,84	4,97
N ₃ K ₁	13,08	12,17	19,84	4,48
N ₀ K ₂	12,27	12,00	17,99	6,16
N ₁ K ₂	12,48	11,53	18,13	4,38
N ₂ K ₂	11,93	12,33	20,91	3,72
N ₃ K ₂	12,93	11,70	20,91	3,99
N ₁ K ₃	11,50	11,50	20,49	4,78
N ₂ K ₃	12,05	10,80	20,91	3,64
N ₃ K ₃	12,08	11,67	20,91	4,58
Média geral	12,43	11,59	19,45	4,81

$$\text{FIRMEZA} = 17,3 + 0,12888^{**}K + 0,00232^{ns}N - 0,001834^{ns}K^2 + 0,01197^{ns}N^2 + 0,0002821^{*}NK^2 - 0,001061^{*}N^2K \quad (R^2 = 0,75)$$

$$PP = 6,76 - 0,0305N^{(**)} - 0,00927K^{(**)} + 0,00001698 K^2^{(*)} + 0,0001562 N^2^{(**)} \quad (R^2 = 0,88)$$

(**): significativo a 1%, (*) significativo a 5% pelo teste T.

Tabela 12 – Curva de Acúmulo de nutrientes obtidos no experimento da Horta da UFERSA para a melancia MickyLee.

Tratamento	N na planta (kg ha ⁻¹)		K na planta (kg ha ⁻¹)		Produção (kg ha ⁻¹)
	Obtido	Simulado	Obtido	Simulado	
N ₀ K ₂	31,74	29,33	57,97	52,04	13.338
N ₂ K ₀	49,91	38,03	80,72	67,48	17.295
N ₁ K ₁	63,83	57,76	106,57	102,49	26.269
N ₁ K ₂	51,24	73,23	77,69	129,96	33.309
N ₁ K ₃	62,01	53,96	99,81	95,76	24.544
N ₂ K ₁	57,68	73,21	121,80	129,92	33.299
N ₂ K ₂	47,95	60,99	102,50	108,22	27.738
N ₂ K ₃	69,38	60,73	109,95	107,77	27.621
N ₃ K ₁	60,33	43,35	96,35	76,93	19.718
N ₃ K ₂	36,93	64,62	84,63	114,67	29.390
N ₃ K ₃	45,66	49,48	93,38	87,81	22.506

$$\text{Prod} = -1561 + (458^{*})N + (217^{*})K - (2,73^{*})N^2 - (0,723^{*})K^2 \quad (R^2 = 0,79)$$

Tabela 13 – Valores do Índice de concordância de Willmott et al. (1995) determinados para as curvas médias que relacionam as quantidades exportadas dos nutrientes X produtividade N e K e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Cultura estudada	Melancia		Melão	
Nutriente	N	K	N	K
Índice “d”	0,88	0,97	0,86	0,74
Coeficiente de determinação (R^2)	0,72	0,72	0,97	0,73
Equações que definiram o modelo	$y = 1,202x + 0,8979$	$y = 1,934x + 3,0964$	$y = 5,8952x - 8,2243$	$y = 4,5784x + 2,6016$

5 CONCLUSÕES

Baseados nos resultados, pode-se concluir que:

- 1- As melhores curvas do modelo, tanto para a melancia quanto para o melão, foram obtidas para a relação Produtividade (kg planta^{-1}) X Totais exportados (g planta^{-1}).
- 2- O total exportado de nutrientes pelas plantas de melancia e melão em função da produtividade é afetado pela densidade de plantio.
- 3- O sistema computacional respondeu eficientemente aos dados de entrada, calculando a adubação de fundação e de cobertura para as culturas do melão e da melancia.
- 4- O rendimento do melão Gália cresceu com a dose de nitrogênio aplicada em fertirrigação, diferente do potássio que não afetou a produtividade da cultura, os sólidos solúveis dos frutos não foram afetados pelas doses de N e K aplicadas em fertirrigação e a firmeza de polpa cresceu com doses de K, mas dependendo da interação com o N, e as perdas de peso foram reduzidas com o aumento das doses de N e K.
- 5- Houve uma elevada concordância, entre os valores obtidos experimentalmente e estimados pelo sistema para a absorção total de nutrientes N e K, tanto para os dados da melancia, quanto para os dados do melão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: **FAO**, 1998, 297p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 56).

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; et al. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1003-1011, 2003.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 11.ed. Washington: AOAC, 1992. 1115p.

BANZATTO, D. A. & KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. 3ª edição. São Paulo: FUNEP. 1995. 245p.

BAR-YOSEF, B. Advances in fertigation. **Advances in Agronomy**, Bet Dagan, v.65, p.1-77, 1999.

BHELLA, H. S., WILCOX, G. E. Yield and composition of muskmelon as influenced by preplant and trickle applied nitrogen. **Hortscience**, Alexandria, v. 21, n. 1, p. 86-88, 1986.

BRITO, L. T. L.; COSTA, N. D.; SOARES, J. M.; et al. Fontes e métodos de aplicação de fósforo na cultura do melão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.10, p.1969-1974, out. 1999.

BRITO, L. T. L.; FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M.; et al. Fontes de fósforo aplicadas na cultura do melão via água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.1, p.19-22, 2000.

CECÍLIO FILHO, A. B.; GRANGEIRO, L. C. Produtividade da cultura da melancia em função de fontes e doses de potássio. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 561-569, 2004a.

_____. Qualidade de frutos de melancia sem sementes em função de fontes e doses de potássio. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 570-576, 2004b.

_____. Acúmulo e exportação de nutrientes pela melancia sem sementes, híbrido Palomar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 44, 2004c, Campo Grande. **Anais...** CD-ROM.

_____. Acúmulo e exportação de nutrientes pela melancia sem sementes, híbrido Shadow. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 44, 2004d, Campo Grande. **Anais...** CD-ROM.

COELHO, E. L.; FONTES, P. C. R. & CARDOSO, A. A. Produção em estufas de frutos de melão em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**. v. 18, p. 225-226, 2000.

COELHO, E. F.; SOUSA, V. F.; SOUZA V. A. B.; et al. Efeito de níveis de N e K aplicados por gotejamento na cultura do meloeiro (*Cucumis melo* L.) em solo arenoso. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v.25, n.1, p.23-30, jan./fev., 2001.

COHEN, R. A.; HICKS, J. R. Effect of storage on quality and sugares in muskmelon. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. V. 111, n. 4, p. 553-557, 1986.

COEX – Comitê Executivo de Fitossanidade do Rio Grande do Norte – **Dados de exportação de melão**: Período de 2003 a Agosto/2006. Mossoró: 2006, 1f.

COUTINHO, E. L. M.; NATALE, W. & SOUZA, E. C. A. Adubos e corretivos: aspectos particulares na olericultura. IN: SIMPOSIO SOBRE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DE HORTALIZAS, 1993, Jaboticabal. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 1993. p85-140.

CRISÓSTOMO, L. A.; SANTOS, A. A.; FARIA, C. M. B.; et al. **Adubação, Irrigação, Híbridos e Práticas Culturais para o Meloeiro no Nordeste**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 21 p. (Circular Técnica, 14).

DUARTE, S. R. **Alterações na nutrição mineral do meloeiro em função da salinidade da água de irrigação**. 2002, 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, área de Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

DUTRA, I.; MEDEIROS, J. F.; SOUSA, A. P.; et al. Produtividade de melão Pele de Sapo em função de diferentes níveis de irrigação e adubações nitrogenada e potássica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 45, 2005, Fortaleza. **Anais...** CD-ROM.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Hortalças (Sist.). **Área de hortalças no Brasil, 1980-2004**. Brasília. 2005a, 1p. Disponível em: <<http://www.cnph.embrapa.br>>. Acesso em: 01 set. 2006.

_____. **Produção de hortalças No Brasil, 1980-2004**. Brasília. 2005b, 1p. Disponível em: <<http://www.cnph.embrapa.br>>. Acesso em: 01 set. 2006.

_____. **Produtividade de hortalças No Brasil, 1980-2004**. Brasília. 2005c, 1p. Disponível em: <<http://www.cnph.embrapa.br>>. Acesso em: 01 set. 2006.

_____. **Exportações brasileiras de hortalças, 2000 a 2005**. Brasília. 2005d, 7p. Disponível em: <<http://www.cnph.embrapa.br>>. Acesso em: 01 set. 2006.

FAO (Food Agricultural Organization). **Localized irrigation. Irrigation and Drainage paper**, Rome: FAO, 1980. 201p.

FAO. **FAOSTAT Database Results**, maintained by FAO, Roma. Disponível em: <<http://apps.fao.org>>. Acesso em: 01 set. 2006.

FARIA, C. M. B.; PEREIRA, J. R. & PINTO, J. M.; et al. Adubação orgânica e mineral na cultura do melão em um vertissolo do submédio São Francisco. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.29, n.2, p.191-197, mar. 1994.

FARIA, C. M. B. de; COSTA, N. D. & PINTO, J. M.; et al. Níveis de nitrogênio por fertirrigação e densidade de plantio na cultura do melão em um vertissolo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p.491-495, mar. 2000.

FAYAD, J.A.; FONTES, P.C.R. & CARDOSO, A.A.; et al. Crescimento e produção do tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 232-237, nov. 2001.

FEIGIN, A.; LETEY, J. & JARRELL, W. M. Nitrogen utilization efficiency by drip irrigated celery receiving or water applied fertilizer. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 978-983, 1982.

FERNANDES, F. M. & PRADO, R. M. **Fertirrigação na cultura da melancia**. Jaboticabal. 2003, 22p. Disponível em: <<http://www.maximino@agr.feis.unesp.br>>. Acesso em: 28 set. 2003.

FIERN. **Exportações do RN 2004**. mantido por CIN-FIERN, Natal. 2004, 1p. Disponível em: <<http://www.fiern.gov.br>>. Acesso em: 28 set. 2006a.

_____. **Exportações do RN 2005**. mantido por CIN-FIERN, Natal. 2005, 1f. Disponível em: <<http://www.fiern.gov.br>>. Acesso em: 28 set. 2006b.

_____. **Exportações do RN - Janeiro a Agosto 2006**. Mantido por CIN-FIERN, Natal. 2006, 2p. Disponível em: <<http://www.fiern.gov.br>>. Acesso em: 28 set. 2006c.

FRIZZONE, J. A., CARDOSO, S. S. & REZENDE, R. Produtividade e qualidade de frutos de meloeiro cultivado em ambiente protegido com aplicação de dióxido de carbono e de potássio via água de irrigação. **Acta Scientia Agronômica**, Maringá, v. 27, n. 4, p. 707-717, 2005.

GÄRDENÄS, A. I.; HOPMANS, J. W.; HANSON, B. R.; et al. Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation. **Agricultural Water Management**, California, v. 74, p. 219–242. 2005.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W. & MOODY, P.W.; et al. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**. Australia, v. 43, n. 2, p. 189-2003. 2005.

GRANGEIRO, L.C.; CECÍLIO FILHO, A.B. Exportação de nutrientes pelos frutos de melancia em função de épocas de cultivo, fontes e doses de potássio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.4, p.740-743, 2004.

GRANGEIRO, L.C.; PEDROSA, J.F.; NETO, F.B.; NEGREIROS, M.Z.. de. Rendimento de híbridos de melão amarelo em diferentes densidades de plantio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.17, n.3, p.200-206, 1999.

GUEDES, L. H. M. **Exportações do RN Agosto** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por cin@fiern.org.br em 28 set. 2006.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção**, mantido por IBGE, Brasília. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 01 set. 2006.

JORGE, J. A. **Solo** – Manejo e adubação. Campinas: Edições Melhoramentos. 1968. 225p.

KAFKAFI, U., BAR-YOSEF, B. & HADAS, A. Fertilization decision model – a synthesis of soil and plant parameters in a computerized program. **Soil Science**, v.125, n. 4, p.261-268, 1978.

KANO, C. **Extração de nutrientes pelo meloeiro rendilhado cultivado em ambiente protegido com adição de potássio e CO₂ na água de irrigação**. Piracicaba, 2002. 102f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

KINPARA, D. I. **A importância estratégica do potássio no Brasil**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 27p. (Documentos, 100).

LESTER, G. E.; SHELLIE, K. C Postharvest sensory and physicochemical attributes of Honey Dew melon fruits. **HortScience**, Alexandria, v. 27, n. 9, p.1012-1014, 1992.

LIMA, A. A. **Adubação com NPK, via fertirrigação na cultura do meloeiro (*Cucumis melo L.*)**. Fortaleza, 2001. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

LIMA JÚNIOR, O. J. **Acúmulo e exportação de nutrientes em cultivares de melancia**. Mossoró: ESAM. 2005. 15f. (Relatório apresentado ao Departamento de Ciências Vegetais como comprovação de trabalhos realizados entre os períodos de agosto de 2004 a julho de 2005 como bolsista do PIBIC).

LISBOA, C. C.; MARCHI, E. C. S. & THEODORO, V. C. **Nitrogênio, enxofre e fósforo orgânicos: formas, mineralização/mobilização, fracionamento e dinâmica**. Lavras: UFV. 2002. 91p. (Revisão apresentada ao Departamento de ciências do solo como requisito da disciplina DCS 810 – Matéria Orgânica do Solo).

LOPES, L. H. S.; CUNHA, M. M. & FERNANDES, C.; et al. **frutiSéries 2 - Ceará – Melão**. Brasília: **Frutiséries**. 12p. 2003.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; et al. **sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA. 2003, 115 p. (Boletim Técnico, 10)

MEDEIROS, D.C. de.; GOMES JÚNIOR, J.; MENEZES, J.B.; SILVA, G.G. da. Vida útil pós-colheita de melão tipo *Galia* genótipo *SolarKing*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23 n.1, p. 59-63. 2001.

MEDEIROS, J. F. **Fertirrigação na irrigação localizada**. Mossoró: ESAM. 2003. 16 f. (Apostila preparada para a disciplina de fertirrigação do curso de atualização em manejo da irrigação localizada e fertirrigação).

MENEZES, J.B.; CHITARRA, A.B.; CHITARRA, M.I.F.; BICALHO, U.O. Modificações dos componentes da parede celular do melão tipo Gália durante a maturação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17 n. 3, p.301-308. 1997.

MESSIAS, A. S.; SILVA, D. J.; FREIRE, F. J.; et al. **Fertilizantes**. IN: CAVALCANTI, F. J. A. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª Aproximação. 2ª ed. rev. Recife: IPA, 1998. 198p.

MICCOLIS, V.; SALTVEIT Jr., M.E. Influence of storage period and temperature on the postharvest characteristics of six melon (*Cucumis melo* L. *inodorus* group) cultivars. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.5, p. 211-219, 1995.

MONTAG, U. J. **Fertigation in Israel**. Barcelona-Espanha: IFA Agricultural Conference on Managing Plant Nutrition, 1999, 24 p.

MORAES, P. S. **Curso básico de lógica de programação**. Campinas: Centro de Computação da Unicamp, 2000. 45 p.

NASCIMENTO, M. & LOUREIRO, F. E. L. **Fertilizantes e sustentabilidade**: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. 66p. (Série Estudos e Documentos, 61).

NEVES, M. C. M. Qual a melhor região para investir em fruticultura? **Hortifruti Brasil**, [s.l], v. 44, 9p. Março. 2006. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil>>. Acesso em: 01 set. 2006.

NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa-MG: UFV, DPS, 1999. 399p.

NUNES, S. K. G. **Acúmulo e exportação de nutrientes pela cultivar de melancia Mickylee**. Mossoró. 2004. 33 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró.

OLIVEIRA, F. H. T. **Sistema para recomendação de calagem e adubação para a cultura da bananeira**. Viçosa. 2002. 78 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS R. F.; ALVAREZ V. H.; et al. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.131-143, 2005.

OLIVEIRA, A. P.; CARDOSO, M. O.; BARBOSA, L. J. N.; et al. Resposta do feijão-vagem a P_2O_5 em solo arenoso com baixo teor de fósforo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p.128-132, jan.-mar. 2005.

PAPADOPOULOS, I. **Fertirrigação**: Situação atual e perspectivas para o futuro. IN: FOLEGATTI, M.V. (coord.). **Fertirrigação**: Citrus, flores, hortaliças. Guaíba Agropecuária, 1999. 460 p.

PAULA, J. A. A.; MEDEIROS, J. F.; MIRANDA, N. O. Cálculo informatizado da adubação/fertirrigação em melão e melancia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2006, João Pessoa. **Anais...** CD-ROM.

PETOSSED. **Melões para o Brasil**. Disponível em: <<http://www.petossed.com.br>>. Acesso em: 01 jan. 2002.

PIMENTEL, C. R. M.; ALVES, R. E. & FILGUEIRAS, E. A. C. **Mercado Internacional**: Situação atual e perspectivas. IN: ALVES, R. E. (coord.). **Melão Pós-Colheita**. Série Frutas do Brasil, n.10. 2000. 44 p.

PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; COSTA, N. D.; et al. Aplicação de N e K via água de irrigação em melão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.13, n. 2, p. 192-195, 1995.

PINTO, J. M., SOARES, J. M., PEREIRA, J. R., et al. Efeitos de períodos e frequências de fertirrigação na cultura do melão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. Natal. **Anais...** Fortaleza: ABID, 1992. p.701-714.

PRATT, H.K. Melons. In: HULME, A. C. **The biochemistry of fruits and their products**. London: Academic Press, v.2, p.207-232, 1971.

PRATA, E. B. **Acumulação de biomassa e absorção de nutrientes por híbridos de meloeiro (*Cucumis melo L.*)**. Fortaleza. 1999. 37 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Agronomia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda. 1991. 343p.

RESENDE, G.M.; COSTA, N.D. Características produtivas da melancia em diferentes espaçamentos de plantio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 695-698, 2003.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa: Folha de Viçosa, 2001. 301p.

ROSSETTI, J. C (coord.). Ações que rendem mais. **Colle Are**, [s. l], Itaí, 68 p, 2004.

SERAFIM, E. C. S. **Modificações microclimáticas e acúmulo de nutrientes em melancia cultivada com proteção de agrotêxtil**. Mossoró, 2006. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

SEYMOUR, G.B.; McGLASSON, W.B. Melons. In: SEYMOUR, G.B.; TAYLOR, J.E.; TUCKER, G.A. (ed.) **Biochemistry of fruit ripening**. Londres: Chapman & Hall, p.273-290. 1993.

SILVA, F. C. (org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos. 1999. 370p.

SILVA JÚNIOR, M. J. Acúmulo de matéria seca e absorção de nutrientes pelo meloeiro “pele-de-sapo”. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.364–368, 2006.

SILVA, J. R. **Efeito do equilíbrio catiônico do solo na produção e qualidade de frutos de melão (*cucumis melo*, L.)**. Fortaleza. 2000. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Agronomia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. ver. ampl. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

TEIXEIRA, C. F. A.; MORAES, S. O. & SIMONETE, M. A. Desempenho do tensiômetro, TDR e sonda de nêutrons na determinação da umidade e condutividade hidráulica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.161-168, 2005.

TEMOTEO, A. S. **Eficiência de utilização de nitrogênio e potássio pelo melão pele de sapo fertirrigado submetido a diferentes lâminas de irrigação.** Mossoró, 2006. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

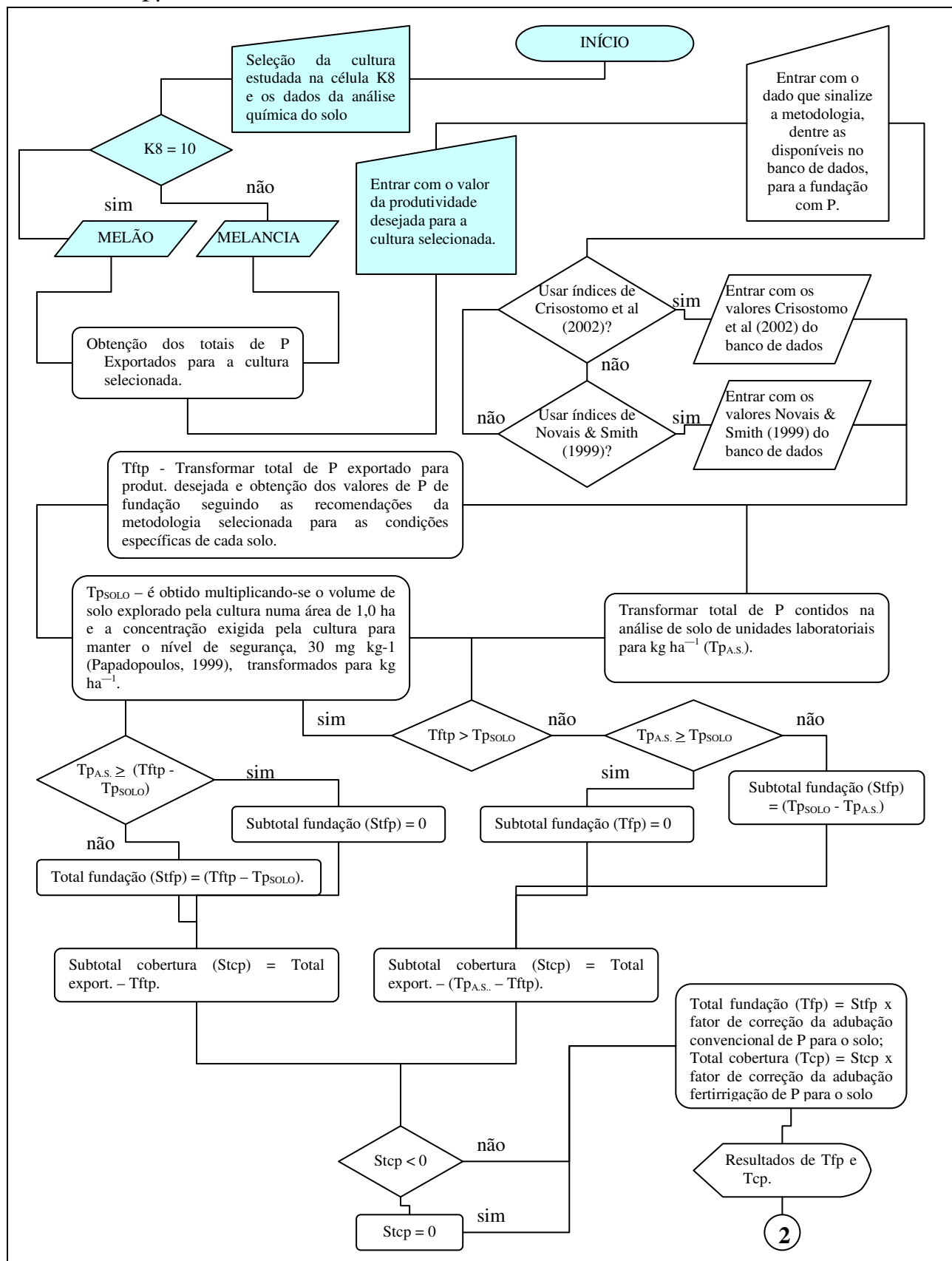
USDA. **The U.S. and World Situation: Melons.** USDA Foreign Agricultural Service Horticultural & Tropical Products. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov>>. Acesso em: 01 set. 2006.

VILAS-BOAS, E. V. B.; CHITARRA, A. B.; MENEZES, J. B. Modificações dos componentes de parede celular do melão ‘Orange Flesh’ submetido a tratamento pós-colheita com cálcio. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 41, n. 4, p. 467-474. 1998.

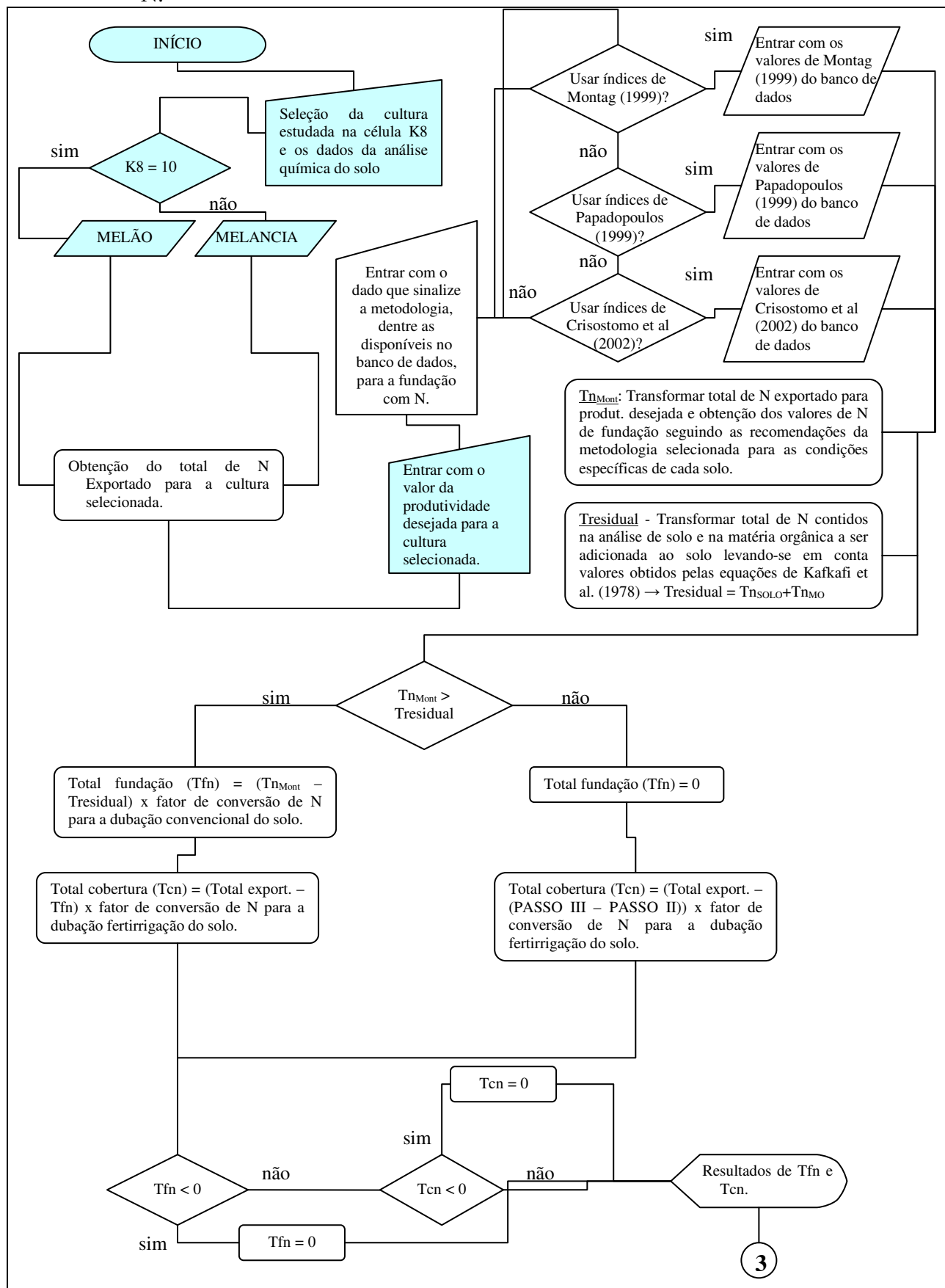
VIVANCOS, A. D. **Fertirrigacion.** Madri: MUNDI – PRENSA, 1996. 233 p.

ANEXOS

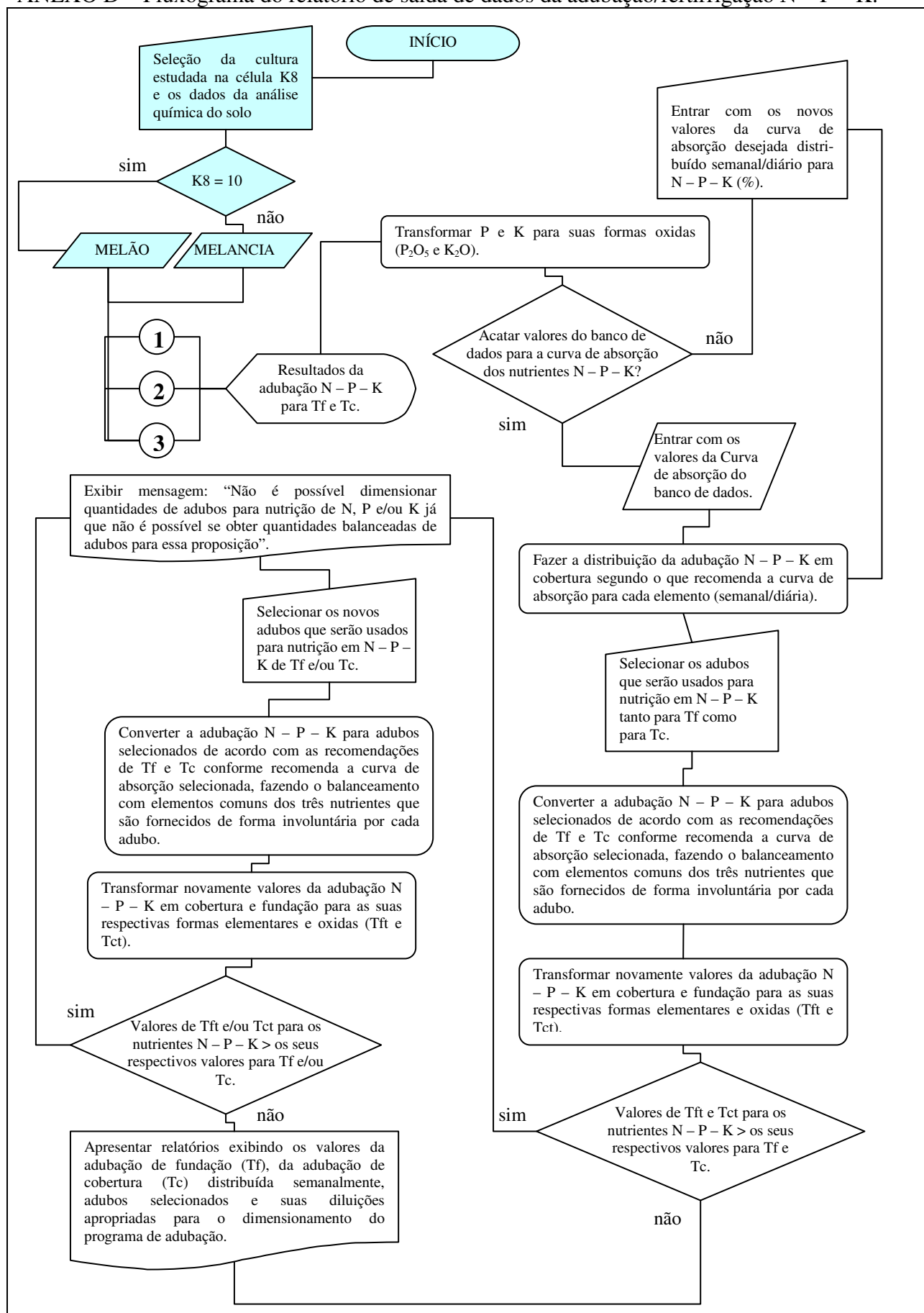
ANEXO B – Fluxograma de execução do programa de adubação/fertirrigação para o elemento P.



ANEXO C – Fluxograma de execução do programa de adubação/fertirrigação para o elemento N.



ANEXO D – Fluxograma do relatório de saída de dados da adubação/fertirrigação N – P – K.



ANEXO E – Características físico-químicas dos solos dos experimentos e exemplo para aplicação do sistema.

Experimento	Dados analisados	Lâmina (mm)	pH	Matéria orgânica (%)	FM (%)	Zef (m)	Composição						CTC
	Local da análise						P (mg dm ⁻³)	Ca	Mg	K	Na	H + Al	
Com melancia	Água de irrigação (mmol _c L ⁻¹ *)	349	6,65	-	-	-	-	7,20	7,70	0,14	4,69	-	-
	Solo (cmol _c dm ⁻³ *)	-	8,20	0,09	0,30	0,30	120	4,35	0,70	0,41	0,285	0,00	5,19
Com melão	Água de irrigação (mmol _c L ⁻¹ *)	400	8,10	-	-	-	-	4,45	3,60	0,14	6,00	-	-
	Solo (cmol _c dm ⁻³ *)	-	7,2	0,09	0,30	0,30	14	2,68	1,20	0,18	0,04	1,09	5,75
Exemplo 1	Solo (cmol _c dm ⁻³ *)	-	-	-	-	-	-	2,00	1,00	0,20	0,10	1,00	4,30
Exemplo 2	Solo (cmol _c dm ⁻³ *)	-	-	-	-	-	-	2,00	1,00	0,35	0,10	1,00	4,45
Exemplo 3	Solo (cmol _c dm ⁻³ *)	-	-	-	-	-	-	10,00	2,00	0,35	0,10	0,50	12,95
Exemplo 4	Solo (cmol _c dm ⁻³ *)	-	-	-	-	-	-	12,00	2,00	0,60	0,10	0,20	14,90
Exemplo 5	Solo (cmol _c dm ⁻³ *)	-	-	-	-	-	-	12,00	3,00	0,20	0,10	0,20	15,50
Exemplo 6	Solo (cmol _c dm ⁻³ *)	-	-	-	-	-	-	12,00	3,00	0,80	0,10	0,20	16,10

* – somente não assumem essas unidades, os itens de dados analisados que contém suas unidades explicitadas abaixo de sua discriminação, com exceção do pH que é adimensional.

APÊNDICES

[illegible]

APÊNDICE D – Dados meteorológicos do município de Mossoró – RN, durante os anos de 2005 e 2006, período onde se procedeu aos experimentos de campo (do plantio à colheita dos frutos).

MÊS/ANO	TEMP. DO AR (°C)			*U.R. (%)	VV (m/s)	I (h)	P (mm)	N (dec)	PR (mmHg)	TCA (mm/dia)	ET _o
	MÁX	MIN	MÉD								
Out/05	34,79	23,11	28,17	65,27	6,20	10,11	0	1,88	754,86	10,25	7,25
Nov/05	35,50	24,04	29,16	61,57	6,27	10,34	0	2,64	754,95	10,61	7,62
Dez/05	35,33	24,79	29,26	63,32	6,06	9,59	0,3	3,77	755,20	10,05	7,17
Jan/06	35,00	25,63	29,30	65,17	5,23	5,28	13,98	5,51	754,95	9,85	6,07
Medias gerais	35,33	24,34	29,11	62,85	6,13	-	-	-	-	-	7,32

*UR: Umidade Relativa; VV: Velocidade do Vento; I: Insolação; P: Precipitação; N: Nebulosidade; PR: Pressão; TCA: Evaporação Tanque Classe A.

APÊNDICE E – Fatores de converção de nitrogênio, fósforo e potássio.

A	B	Para converter A em B, Multiplicar por:	Para converter B em A, Multiplicar por:
K	K ₂ O	1,20	0,83
N	NH ₄	1,20	0,78
N	NO ₃	4,43	0,23
P	P ₂ O ₅	2,29	0,44

Fonte: MEDEIROS (2003).

APÊNDICE F – Dados de acúmulo de nutrientes para a obtenção das equações* de calibração dos totais exportados em função da produtividade almejada em melancia e melão para o sistema.

Cultura estudada	Variedade Estudada	Autor do dado	Totais exportados			Produt. Total (kg planta ⁻¹)	Produt. Total (Mg ha ⁻¹)	Produt. comercial (Mg ha ⁻¹)
			N	P	K			
Melancia	Palomar	Cecílio Filho et al. (2004c)*	69,5	4,00	102,00	13,80	32,20	-
Melancia	Shadow	Cecílio Filho et al. (2004d)*	69,5	4,00	102,00	11,67	27,20	-
Melancia	Tide	Grangeiro et al. (2004)*	32,90	2,50	64,80	17,54	34,40	-
Melancia	Crimson Sweet	Lima Júnior (2005)*	94,00	7,86	190,82	5,43	54,30	-
Melancia	híbrido 92205	Lima Júnior (2005)*	78,00	9,12	221,37	6,10	63,10	-
Melancia	Mickylee	Lima Júnior (2005)*	81,90	6,12	159,32	6,31	61,00	-
Melancia	Mickylee	Nunes (2004)**	4,45	1,53	14,80	6,00	20,00	-
Melancia	Mickylee	Serafim (2006)*	47,40	7,80	42,20	3,94	39,40	-
Melão	Gália	Bar-Yosef (1999)**	98,40	24,40	89,60	2,24	56,00	-
Melão	Orange Flash	Duarte (2002)**	219,00	98,50	288,00	4,50	45,00	34,00
Melão	Trusty	Duarte (2002)**	261,00	126,00	368,40	6,00	60,00	46,00
Melão	Gold mine	Lima (2001)*	120,38	25,49	122,85	3,30	33,00	28,38
Melão	Gold Pride	Lima (2001)*	89,38	21,58	75,25	3,05	30,50	29,75
Melão	Pele-de-sapo	Silva Júnior (2006)**	3,40	1,11	13,95	2,20	21,98	-
Melão	Sancho (trat. N ₃ K ₃)	Temóteo (2006)*	93,39	-	195,80	2,51	33,88	24,66
Melão	Sancho (trat. N ₂ K ₂)	Temóteo (2006)*	108,95	-	241,67	3,44	34,41	28,29
Melão	Sancho (trat. N ₁ K ₁)	Temóteo (2006)*	102,21	-	228,46	2,62	35,40	28,10
Melão	Melão	Vivancos (1996)***	3,40	0,80	4,50	-	25,00	-
Melão	Melão	Vivancos (1996)***	6,00	2,70	10,00	-	70,00	-

* - para esses autores, os dados dos totais exportados estão em unidade de kg ha⁻¹;

** - para esses autores, os dados dos totais exportados estão em unidade de g planta⁻¹;

*** - para Vivancos (1996) os dados dos totais exportados estão em unidade de kg Mg⁻¹.