

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FOSFATOS NA CULTURA DA BATATA
(*Solanum tuberosum* ssp *tuberosum*)**

ROSEMARY MARQUES DE ALMEIDA BERTANI

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu - UNESP, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Agricultura.

BOTUCATU - SP
JULHO - 1998

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FOSFATOS NA CULTURA DA BATATA
(*Solanum tuberosum* ssp *tuberosum*)**

ROSEMARY MARQUES DE ALMEIDA BERTANI

PROF. DR. LEONARDO THEODORO BÜLL

Orientador

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu - UNESP, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Agricultura.

BOTUCATU - SP
JULHO - 1998

FICHA CATALOGRAFICA ELABORADA PELA SEÇÃO DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO
DIRETORIA DE SERVIÇO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - FCA
UNESP - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Bertani, Rosemary Marques de Almeida
B536e Eficiência agrônômica de fosfatos na cultura da
batata (*Solanum tuberosum ssp tuberosum*) / Rosemary
Marques de Almeida Bertani. -- Botucatu, 1998
ix, 98 f. : il. color. (1 p&b) ; 28 cm

Tese (doutorado) -- Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 1998
Orientador: Leonardo Theodoro Büll
Bibliografia: f. 74-98

1. Batata - Fosfatos - Eficiência agrônômica 2.
Batata - Produção 3. Batata - Adubação com fosfatos
4. Batata - Crescimento - Análise I. Título

CDD (21) 635.21891

Palavras-chave: Batata; *Solanum tuberosum*; Fosfato; Adubação.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

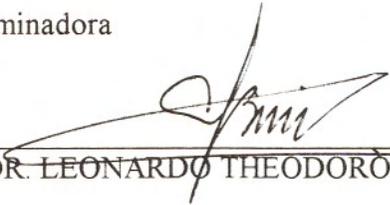
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FOSFATOS NA CULTURA DA BATATA
(*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum*)"

AUTOR: ROSEMARY MARQUES DE ALMEIDA BERTANI

* ORIENTADOR: PROF. DR. LEONARDO THEODORO BÜLL

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. LEONARDO THEODORO BÜLL



PROF. DR. TAKASHI MURAOKA



PROF. DR. JOÃO DOMINGOS RODRIGUES



PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

PROF. DR. OSWALDO BRINHOLI

Data da Realização: 02 / JULHO / 1998 .

À **ZULMIRA**, minha mãe, que sempre me incentivou, apoiou e pelo exemplo de amor e dedicação aos seus filhos.

Ao meu pai **FERNANDO**, cuja inesquecível lembrança, pela dedicação e incentivo aos seus filhos, conduziram-me para os ideais de honestidade, moral e amor a Deus.

DEDICO

À **ROGÉRIO, RAQUEL, AMANDA e FERNANDA** pelo amor, compreensão e incentivo.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À DEUS por tudo e peço forças para a caminhada futura.

Ao Professor Dr. Leonardo Theodoro Büll pela competência na orientação técnica, científica em todas as fases deste trabalho, pelo apoio e amizade.

À Professora Dr^a Sheila Zambelo de Pinho, pela atenção, colaboração e sugestões apresentadas.

Ao Professor Dr. João Domingos Rodrigues, pela valiosa contribuição através das colaborações e sugestões apresentadas.

Ao Professor Dr. Oswaldo Brinholi, pela colaboração e informações prestadas.

Ao Centro de Informática na Agricultura - CINAG, da Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, Campus de Botucatu, em especial à Hosana Herrera, pela realização das análises estatísticas.

Aos funcionários da Fazenda Experimental de São Manuel, da F.C.A. - UNESP, em nome de Nilton Aparecido de Moraes, pelo auxílio na condução e avaliação dos experimentos de campo.

Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas, em especial Roberto Carvalho Prado.

À Seção de Pós-Graduação, em especial Marilena do Carmo Santos e Marlene Rezende de Freitas, pela assistência prestada.

À Célia Regina Inove pelas correções da referência bibliográfica.

À todos os meus familiares, em especial a Regina Aparecida de Almeida e Aparecida Marques de Almeida pelo exemplo e incentivo.

À Vania Teresa de Araujo Silva, por todo o trabalho de digitação e amizade.

À CAPES - Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior pela bolsa de estudos concedida.

E às demais pessoas que de qualquer forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
1. RESUMO	1
2. SUMMARY	3
3. INTRODUÇÃO	5
4. REVISÃO DE LITERATURA	7
4.1. Análise de crescimento da cultura da batata	8
4.2. O fósforo no solo: fontes e doses.....	10
4.2.1. Fertilizantes fosfatados convencionais	12
4.2.2. Fertilizantes fosfatados alternativos	20
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
5.1. Localização do experimento e características do solo utilizado	22
5.2. Caracterização da variedade	23
5.3. Delineamento experimental	24
5.4. Caracterização dos fertilizantes.....	25
5.5. Instalação e condução do experimento	25
5.6. Avaliações	28
5.6.1. Análise de crescimento	28
5.6.2. Produção comercial e número total de tubérculos	31
5.6.3. Diagnose nutricional	31

SUMÁRIO

	Página
5.6.4. Índice de Eficiência Agronômica (IEA)	31
5.6.5. Análise estatística	32
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6.1. Análise de crescimento	33
6.1.1. Índice de área foliar (IAF)	33
6.1.2. Matéria seca total (MST)	37
6.1.3. Matéria seca dos tubérculos (MSTB)	40
6.1.4. Matéria seca das folhas (MSF)	43
6.1.5. Área foliar específica (AFE)	46
6.1.6. Razão de área foliar (RAF)	49
6.1.7. Taxa assimilatória líquida (TAL)	52
6.1.8. Taxa de crescimento relativo (TCR)	54
6.1.9. Duração de área foliar (DAF)	57
6.2. Produção comercial e número total de tubérculos	59
6.3. Diagnose foliar	63
6.3.1. Macronutrientes	63
6.3.2. Micronutrientes	68
6.4. Eficiência Agronômica	71
7. CONCLUSÕES	73
8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Resultado da análise química do solo da área experimental.....	23
2	Composição química das fontes de fósforo utilizadas.....	25
3	Quantidades aplicadas dos fertilizantes fosfatados em função dos tratamentos.....	26
4	Doses e fontes de micronutrientes acrescentadas aos tratamentos superfosfato triplo, fosfato organo-mineral e controle.....	27
5	Regressões dos valores do índice de área foliar (IAF) em relação às épocas de amostragem.....	35
6	Regressões dos valores da matéria seca total (MST) em relação às épocas de amostragem.....	39
7	Regressões polinomiais dos valores da matéria seca dos tubérculos (MSTB) em relação às épocas de amostragem.....	42
8	Regressões dos valores da matéria seca das folhas (MSF) em relação às épocas de amostragem.....	45

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
9	Regressões da produtividade total comercial e do número total de tubérculos (NTB) em relação às doses de adubos aplicadas.....	61
10	Regressões dos teores de macronutrientes em função das doses de adubos aplicadas.....	65
11	Regressões dos teores de micronutrientes em função das doses de adubos aplicados.....	70
12	Índices de eficiência agronômica (IEA) dos fosfatos testados, em função das doses de fósforo.....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Esquema representativo das amostragens para análise de crescimento.....	28
2	Variações obtidas para o índice de área foliar (IAF), em relação às épocas de amostragem	34
3	Variações obtidas para matéria seca total (MST), em relação às épocas de amostragem	38
4	Variações obtidas para a matéria seca dos tubérculos (MSTB), em relação às épocas de amostragem	41
5	Variações obtidas para matéria seca das folhas (MSF), em relação às épocas de amostragem	44
6	Variações obtidas para a área foliar específica (AFE), em relação às épocas de amostragem	47
7	Variações obtidas a razão de área foliar (RAF), em relação às épocas de amostragem	50
8	Variações obtidas para a taxa assimilatória líquida (TAL), em relação às épocas de amostragem	53
9	Variações obtidas para a taxa de crescimento relativo (TCR), em relação às épocas de amostragem	55

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
10	Variações obtidas para a duração de área foliar (DAF), em relação às épocas de amostragem	58
11	Produtividade total comercial e número total de tubérculos produzidos pela cultura da batata em função de fontes e doses de fósforo	60
12	Concentração de macronutrientes na matéria seca de pecíolos de plantas de batata em função de fontes e doses de fósforo	64
13	Concentração de micronutrientes na matéria seca de pecíolos de plantas de batata em função de fontes e doses de fósforo	69

1. RESUMO

O presente trabalho objetivou estudar a eficiência agronômica de fosfatos na cultura da batata (*Solanum tuberosum* spp *tuberosum*), variedade Bintje, através de análises de crescimento, acúmulo de nutrientes no tecido foliar e produção de tubérculos, em experimento conduzido em condição de campo na Fazenda Experimental São Manuel, localizada no município de São Manuel - SP.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 4 repetições, obedecendo um esquema fatorial 3 x 3, sendo 3 fontes de fósforo e 3 doses, 100, 200 e 300 kg/ha de P_2O_5 , além de um controle sem aplicação de fósforo.

Como fontes de P foram utilizados o superfosfato triplo, termofosfato Yoorin Master e um fosfato organo-mineral, sendo este último obtido da solubilização de fosfato de rocha (apatita) através da mistura com lixo domiciliar. Os tratamentos com superfosfato triplo, fosfato organo-mineral e controle receberam micronutrientes para compensar o fornecimento pelo termofosfato.

Para análise de crescimento foram feitas 6 coletas de plantas, sendo 2 plantas por parcela, num total de 36 parcelas. A primeira coleta foi feita 20 dias após o início da emergência e as coletas subsequentes, aos 34, 48, 62, 76 e 90 dias.

Para a análise de tecido vegetal foram coletados os pecíolos das 4^{as} folhas a partir do ápice, aos 48 dias após o plantio.

O Índice de Eficiência Agronômica (IEA) dos fosfatos testados foi calculado com base no diferencial de produção obtido entre os fosfatos em teste e o superfosfato triplo.

Os resultados indicam que a aplicação de fósforo promoveu elevação em todos os índices de análise de crescimento. As fontes superfosfato triplo e termofosfato Yoorin, na dose de 300 kg/ha de P_2O_5 , propicia aumento no crescimento e produtividade da cultura da batata, especialmente porque eleva a superfície fotossintética. A fonte organo-mineral mostrou-se mais eficiente na dose de 200 kg/ha de P_2O_5 . O teor de P na matéria seca dos pecíolos se relacionou apenas com o aumento nas doses de fósforo aplicado ao solo para o superfosfato triplo. Os IEA proporcionados pelo superfosfato triplo e termofosfato Yoorin equivaleram-se até a dose de 200 kg/ha de P_2O_5 e foram superiores àqueles obtidos com a fonte organo-mineral, à exceção da dose de 200 kg/ha de P_2O_5 . Nesta dose a fonte organo-mineral foi superior às demais.

AGRONOMIC EFFICIENCY OF PHOSPHATES IN THE POTATO CROP (*Solanum tuberosum* ssp *tuberosum*). Botucatu, 1998. 101 p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ROSEMARY MARQUES DE ALMEIDA BERTANI

Adviser: Prof. Dr. LEONARDO THEODORO BÜLL

2. SUMMARY

This paper aimed to study the agronomic efficiency of phosphates on potato crop (*Solanum tuberosum* ssp *tuberosum*), cv Bintje, by growth analysis, nutrient accumulation in the leaf tissue and tuber yield, in a experiment carried out under field condition at São Manuel Experimental Farm, located in São Manuel district - SP.

The experimental design was a randomized block with four replications, with combinations of 3 phosphorus sources and 3 levels, 100, 200 and 300 kg/ha of P₂O₅, plus a control without phosphorus application.

The utilized phosphorus sources were triple superphosphate, Yoorin Master termophosphate and an organomineral phosphate, the last one being obtained from rock phosphate (apatite) solubilization and mixed with domestic waste.

The treatments with triple superphosphate, organomineral phosphate and control received micronutrient amendment to compensate the micronutrient supplied by the thermophosphate.

For growth analysis plants were sampled in 6 dates and 2 plants per plot, in a total of 36 plots, in each date.

The first sampling was 20 days after tuber emergence and the following ones, at 34, 48, 62, 76 and 90th days.

For tissue analysis the petioles of the 4th leaves from the top of the plant were collect 48 day after planting.

The Agronomic Efficiency Index (AEI) for the tested phosphates was calculated based on the yield differential obtained from the tested phosphate and the triple superphosphate.

The results indicate that phosphorus application caused an increase in all growth indexes. The triple superphosphate and Yoorin thermophosphate at doses of 300 kg/ha of P₂O₅ provide an increase in the potato growth and yield especially due to the increasing of photosynthetic area. The organomineral source showed to be most efficient at doses of 200 kg/ha P₂O₅. The phosphorus content in the petiole dry matter was only related to the phosphorus rate increasing when supplied by superphosphate applied in the soil.

The AEI estimated for triple superphosphate and Yoorin thermophosphate were equivalent up to 200 kg/ha of P₂O₅ and were higher than those obtained for organomineral source, with the exception of 200 kg/ha P₂O₅. At this doses the organomineral source was superior than the other ones.

KEYWORDS: Agronomic efficiency, phosphates, *Solanum tuberosum* ssp *tuberosum*.

3. INTRODUÇÃO

A maioria dos solos brasileiros geralmente apresenta elevada acidez, baixa fertilidade natural e significativa capacidade de fixação de fósforo. A correção dessas características exige aplicações de grandes quantidades de fósforo, além da utilização da prática da calagem. Nestes solos, em decorrência da baixa disponibilidade de fósforo para as plantas, aliado às necessidades das culturas, torna-se imprescindível o uso de fertilizantes fosfatados.

Para a batata (*Solanum tuberosum* ssp *tuberosum*), deficiências de fósforo se manifestam praticamente em todos os tipos de solos brasileiros, geralmente não se manifestando com sintomas visuais nítidos na folhagem, porém retardando o desenvolvimento inicial da planta, com severos reflexos na produção.

A adubação com fontes solúveis de fósforo favorece a adsorção deste nutriente, reduzindo a disponibilidade para as plantas. Há, portanto, necessidade de se aplicar quantidade adicional de fósforo para atender a demanda da planta após a estabilização das reações de equilíbrio no solo. Uma alternativa que pode favorecer o aproveitamento do fósforo em solos ácidos e fixadores de fósforo, é o emprego de fosfatos silicatados, comumente denominados termofosfatos, que exercem efeitos

importantes na elevação do pH do solo e no fornecimento de silicato, um ânion capaz de competir com o fosfato pelos mesmos sítios de adsorção nos colóides, resultando na diminuição da fixação de fósforo.

Na utilização racional e econômica de adubos fosfatados destaca-se a possibilidade de uso de fontes alternativas de fósforo como aquelas originadas pela solubilização de rochas fosfáticas com resíduos urbanos. A recomendação de uma fonte baseia-se na sua capacidade em suprir fósforo adequadamente para as plantas (eficiência agronômica) e no balanço econômico.

Diante do exposto, conduziu-se o presente trabalho com o objetivo de estudar a eficiência agronômica de fosfatos na cultura da batata, através das análises de crescimento, do acúmulo de nutrientes no tecido foliar e da produção de tubérculos.

4. REVISÃO DE LITERATURA

A batata é a planta dicotiledônea mais importante como fonte de alimentação humana, ocupando o 4º lugar entre os principais cultivos alimentícios do mundo, sendo superado somente pelo trigo, arroz, milho.

Sua propagação é tradicionalmente feita de forma vegetativa, pelo plantio de batata-sementes. A boa qualidade da batata-semente em termos fisiológicos e fitossanitários, bem como o desenvolvimento do broto por ocasião da colheita, tem fundamental importância no sucesso da cultura. Nas condições brasileiras, como o ciclo da cultura torna-se bastante reduzido, esses fatores devem concorrer para uma emergência rápida e uniforme das plantas, visando com isso, um máximo de desenvolvimento vegetativo num menor período de tempo.

Segundo Filgueira (1987) existem três épocas distintas de plantio de batata: de setembro a dezembro (plantio das águas), de fevereiro a abril (plantio da seca) e de maio a julho (plantio de inverno), sendo que esta última possibilita a bataticultura em localidades de altitudes mais baixas, desde que haja irrigação.

4.1. Análise de crescimento da cultura da batata

Conforme Kleinkopf (1982) e Wright & Stark (1990) o desenvolvimento da cultura da batata pode ser dividido em quatro estádios de crescimento, sendo que o primeiro inclui as fases de plantio até o início da tuberização. O segundo estágio compreende a formação dos tubérculos nas extremidades dos estolões e no terceiro estágio ocorre principalmente o enchimento dos tubérculos, quando há redução nas taxas de crescimento dos caules e folhas, com o índice de área foliar (IAF) atingindo valores máximos entre 3,5 e 6,0. Durante o quarto estágio as plantas começam a fenecer, as folhas caem e a película dos tubérculos amadurecem.

O crescimento das plantas pode ser medido de várias maneiras, tais como, tamanho, número ou massa de seus órgãos. Segundo Whale et al. (1985) o estudo da assimilação do carbono e dos sais minerais e suas subseqüentes partições dentro de uma planta deve utilizar, preferencialmente, a descrição do crescimento em termos de incremento de matéria seca (MS) e área foliar (AF).

Na literatura brasileira, trabalhos envolvendo análise de crescimento, fontes e doses de adubo fosfatado, diagnose foliar e produção para a cultura da batata, são escassos. Dentre os trabalhos, pode-se citar o de Aguiar Netto (1997), estudando o crescimento e a produtividade da cultura da batata, com relação a lâminas de irrigação.

Blackman (1919) citado por Watson (1952) forneceu o primeiro passo no desenvolvimento de um procedimento, para analisar o crescimento em termos de

acréscimo na matéria seca das plantas, sendo essa técnica de investigação conhecida como análise de crescimento.

Para Briggs et al. (1920a), sob condições normais de cultivo, métodos de obtenção de dados para fins de análise de crescimento de plantas, são em geral simples, consistindo principalmente de medições periódicas de MS e AF.

Para análise de crescimento Radford (1967) apresenta uma revisão das fórmulas, suas derivações e principais condições para uso e mostra os principais índices fisiológicos, estimados a partir da variação da MS e AF. Entretanto, para Wilson et al. (1986) os estudos de análise de crescimento preocupam-se, demasiadamente, com os valores dos índices fisiológicos e se esquecem da validação dos modelos matemáticos.

O IAF foi conceituado por Watson (1952) como a AF de uma planta por unidade de área ocupada pela mesma, constituindo-se num índice de eficiência funcional das partes produtivas de um vegetal (Hunt, 1982), ou a capacidade que a cultura tem de explorar o espaço disponível (Pereira & Machado, 1987).

O quociente entre a AF e a Matéria seca total (MST) é denominado de razão de área foliar (RAF) e foi utilizado em comparações com a taxa de crescimento relativo (TCR) por Briggs et al. (1920a). A RAF é composta da razão de massa foliar (RMF), que indica uma distribuição diferencial dos produtos fotossintéticos entre o crescimento da folha e de outras partes da planta, e da área foliar específica (AFE), que representa as diferenças no espessamento foliar (Radford, 1967).

O incremento da MS por AF na unidade de tempo, foi denominado por Briggs et al. (1920b) como razão foliar unitária, sendo atualmente conhecido como

taxa assimilatória líquida (TAL). Este índice da análise de crescimento, que expressa o balanço entre fotossíntese e respiração, de acordo com Watson (1952), é fortemente influenciado por fatores externos, especialmente as condições climáticas.

Denomina-se duração da área foliar (DAF) a integral do IAF com relação ao tempo, que expressa em termos quantitativos quanto tempo a planta mantém sua superfície assimilatória ativa (Séstak et al., 1971).

A taxa de crescimento relativo (TCR) foi introduzida por Blackman (1919), citado por Pereira & Machado (1987), representando a quantidade de material produzido por unidade de material existente, em analogia com a taxa de juros compostos. Briggs et al. (1920a), comentam que a TCR não é constante, fornecendo uma idéia da eficiência das plantas na conversão de matéria seca.

4.2. O fósforo no solo: fontes e doses

A maioria dos solos brasileiros cultivados com batata apresentam limitações ao bom desenvolvimento e produção da cultura, em função dos baixos níveis de fósforo. Isto significa que aumentos de produção quase sempre ocorrem quando o solo recebe adubação fosfatada. Estes aumentos são mais marcantes em solos com baixo teor de fósforo, principalmente naqueles mais ácidos e pobres em matéria orgânica.

A adubação fosfatada é muito importante no crescimento inicial da planta, que além de aumentar a produção de tubérculos em peso e em número,

aumenta também a quantidade e qualidade do amido neles contidos e reduz suas perdas durante o armazenamento.

A quantidade de fósforo a aplicar dependerá da análise do solo, considerando-se principalmente o nível de P existente e a textura do solo. Solos de textura média e arenosa geralmente necessitam de menores doses de fósforo do que os de textura argilosa, que apresentam maior poder de fixação do nutriente.

Parte do fósforo encontra-se associado à matéria orgânica e parte constitui compostos inorgânicos bastante insolúveis. A proporção entre essas duas formas é muito variável, podendo o fósforo orgânico representar mais da metade do teor total na camada arável (Cabala & Fassbender, 1970). As formas inorgânicas de fósforo são, em geral, as que representam interesse direto para a nutrição das plantas, podendo ser agrupadas nas formas de fosfato de alumínio (P-Al), fosfato de ferro (P-Fe), fosfato de cálcio (P-Ca), fosfatos oclusos de ferro e alumínio e P solúvel em água.

As formas inorgânicas de fósforo mais conhecidas em solos ácidos são as de P ligado ao Fe e ao Al, representadas pelos minerais strengita e variscita, respectivamente. A transformação de uma forma de fosfato em outra é controlada principalmente pelo pH. À medida que os solos se tornam mais ácidos, a atividade do Fe e do Al aumenta e as formas mais solúveis de P-Ca são convertidas em P-Al e P-Fe (Chang & Jackson, 1958).

O P-solução representa o fósforo dissolvido e fazendo parte da fase líquida do solo, sendo normalmente encontrado em concentrações muito baixas, da ordem de 0,1 a 1,0 ppm (Larsen, 1967). As plantas absorvem fósforo da solução, o

qual se movimenta até a superfície das raízes por difusão; daí a importância da manutenção de níveis adequados de fósforo na solução do solo.

Parte do fósforo da fase sólida, denominado por Larsen (1967) de “P-lábil”, mantém um equilíbrio rápido da solução do solo. A parte restante da fase sólida, denominada “P-não lábil”, pode ser liberada muito lentamente e ao entrar em equilíbrio com o fósforo do reservatório lábil (Mengel & Kirkby, 1982) e, em prazos maiores, pode entrar em equilíbrio com o fósforo da solução.

4.2.1. Fertilizantes fosfatados convencionais

O uso de fertilizantes fosfatados reveste-se de grande importância para os solos brasileiros, onde a quase totalidade dos cultivos responde favoravelmente à adubação (Raij et al., 1981). Os fertilizantes fosfatados mais usados na agricultura brasileira são os fosfatos solúveis em água (superfosfato simples, superfosfato triplo, fosfato monoamônio, e fosfato diamônio), que, seguramente, são as melhores fontes de fósforo. Contudo, são produtos caros, por exigirem em sua fabricação alto consumo de energia, além de necessitarem de enxofre, matéria prima importada que eleva ainda mais o custo final do produto (Raij et al., 1982).

Estudos em regiões temperadas evidenciam que os fertilizantes fosfatados devem possuir pelo menos 40 a 50% de fósforo solúvel em água, para assegurar um suprimento adequado nas fases iniciais de crescimento das plantas (Englestad, 1972 citado por Sanchez, 1981). Este requisito pode ser plenamente satisfeito pelos superfosfatos (simples e triplo), que teoricamente poderiam ser

efetivamente utilizados somente em solos com baixa à moderada capacidade de retenção de fósforo (Sanchez, 1981). A baixa eficiência das adubações fosfatadas evidencia a necessidade de novos métodos de adubação no que diz respeito a fontes, épocas de aplicação e localização do adubo (Guimarães et al., 1993).

Visando aumentar a eficiência dos fertilizantes fosfatados, incluem-se componentes que concorram para diminuir a fixação do fósforo solubilizado, como é o caso dos silicatos (Hingston et al., 1968, 1972; Sherman, 1969; Obihara & Russel, 1972). Esses compostos, por competirem com os fosfatos nos sítios de adsorção, contribuem para a manutenção do P adsorvido em sua forma lábil.

O aumento da carga negativa do solo com o aumento do pH pode acarretar a exclusão do ânion fosfato da proximidade da superfície do solo, resultando em uma menor fixação do fósforo e, conseqüentemente, em maior disponibilidade desse elemento para as plantas (Camargo et al., 1976).

Smyth (1976) observou aumentos na capacidade de troca catiônica (CTC) em solos com minerais com potencial de superfície constante, pela aplicação de óxido de cálcio, silicato ou fósforo. Concluiu que aumentos na carga negativa por aplicações de fósforo são atribuídas às reações específicas de adsorção. Aumentos nas cargas negativas pela aplicação de hidróxido de cálcio são causados pela maior adsorção das hidroxilas. Silicatos podem aumentar a carga negativa do solo pelo mesmo mecanismo.

Certos ânions inorgânicos, como silicato, molibdato e sulfato, são adsorvidos pelos minerais do solo e podem, em princípio, competir com o fosfato pelos sítios de adsorção. Assim, a correção do solo com silicatos, além de elevar o

pH, poderia aumentar a disponibilidade de fósforo para as plantas, pelo efeito adicional de deslocamento do fósforo adsorvido para a solução (ou bloqueio dos sítios de adsorção) pelo silicato (Volkweiss & Raij, 1977; Raij, 1981). A respeito disso, Hingston et al. (1968, 1972) relatam que, além do fosfato, o silicato e outros ânions como sulfato, bicarbonato, molibdato, selenito e nitrato, são capazes de coordenar-se com Fe e Al para formar compostos estáveis. Estes ânions devem, em princípio, serem capazes de competir com os ânions fosfatos pelos mesmos sítios de adsorção do solo.

O efeito favorável do silício na produção de algumas espécies vegetais nas condições de campo, deve-se, em parte, ao aumento que provoca na disponibilidade de fósforo; ao que parece, isto se deve à troca de fosfato fixado em sesquióxidos pelo íon silicato (Malavolta, 1980). Além disso, evidências têm mostrado que o silício tem papel no metabolismo do fósforo e, ainda, de que o silício e o fósforo são adsorvidos nos mesmos sítios. A esse respeito, Rajan (1975) observou que a adsorção de fósforo em frações minerais ocorreu pela substituição do silício adsorvido em baixas concentrações e do silício estrutural em altas concentrações.

Fontes de fosfatos silicatados no Brasil são conhecidas como termofosfatos. Vários estudos apontam a viabilidade técnica de sua utilização, principalmente em solos que apresentam condições adversas ao emprego dos fertilizantes tradicionais (Nakagawa et al., 1983; Yasuda, 1989; Morelli et al., 1991; Caceres et al., 1993; Nunes, 1993).

Os termofosfatos são produtos resultantes de tratamento térmico de rochas fosfatadas com ou sem adição de outros materiais (Malavolta & Romer, 1975). O tratamento térmico consiste na calcinação (termofosfatos calcinados) ou na fusão (termofosfatos fundidos). Esses fertilizantes caracterizam-se por possuírem alta solubilidade em solução de ácido cítrico, e solução neutra de citrato de amônio; são insolúveis em água e apresentam comportamento alcalino (Alcarde & Ponchio, 1980); não sofrem empedramento (Ando, 1958; Chien, 1978; Braun, 1980). Essas características são responsáveis pela boa eficiência desses produtos, em comparação com a dos superfosfatos, quando aplicados em solos ácidos.

O termofosfato magnesiano, também chamado de silicofosfato de magnésio, é obtido pelo aquecimento de uma mistura de rocha fosfatada com silicato de magnésio a uma temperatura de 1500°C, provocando-se a seguir um choque térmico da massa em fusão com água fria. Finalmente, o material obtido é moído após secagem. A fusão da rocha fosfática a 1500°C destrói a estrutura cristalina da rocha, possibilitando as transformações físicas e reações químicas com formação de fósforo mais solúvel e mais disponível ao vegetal.

Segundo Malavolta (1981), o termofosfato pode proporcionar produções de 12 a 45% maiores que as obtidas com o superfosfato; esse efeito pode ser explicado de diferentes maneiras que não se excluem mutuamente, tais como: neutralização da acidez do solo, fornecimento de cálcio e magnésio como nutriente, adição de micronutrientes, diminuição na toxicidade de Mn pelo silicato presente e diminuição da fixação de fósforo pelo silicato.

Korndörfer (1978), trabalhando com dois solos de diferentes características, numa sucessão de quatro cultivos, verificou que a eficiência do termofosfato magnésiano (Yoorin) foi similar ao superfosfato triplo.

Fenster & León (1978), citados por Kaminski (1983), indicaram os termofosfatos, especialmente os magnésianos fundidos, como alternativa de grande potencial para solos da América Latina, relatando que estes fosfatos mostraram-se até superiores ao superfosfatos, inclusive quanto à absorção de Ca e Mg.

Com relação a fonte de fósforo a ser utilizada, Maciel (1983), estudando diversos fosfatos para a cultura da batata, em duas doses (50 e 100 kg/ha de P_2O_5) obteve maiores produções para as doses de 100 kg/ha. Nessa dose, o termofosfato Yoorin Master produziu 44.250 kg/ha, o superfosfato simples 33.833 kg/ha e o fosfato natural 16.042 kg/ha.

Resultados de 425 ensaios de campo, em diversas localidades dos E.U.A., mostraram que o fosfato tricálcico fundido, desenvolvido pelo TVA, pode igualar-se ao superfosfato triplo para certas culturas, quando aplicados em solos ácidos. Já em solos alcalinos esse tipo de fosfato mostrou-se ineficiente (Seatz et al., 1954).

Foram avaliados por Silva & Magalhães (1985), o efeito de quatro doses de fósforo (0, 100, 200 e 400 kg/ha de P_2O_5) sobre a produção e a qualidade dos tubérculos, utilizando-se superfosfato triplo no plantio. Não foram observadas respostas à aplicação de fósforo, possivelmente devido ao elevado nível inicial deste elemento no solo.

Segundo Franco (1987), em vários experimentos com diferentes cultivares, o fósforo foi o elemento que mais interferiu na produção, respondendo até 519 kg/ha P_2O_5 . Entretanto, Moraes et al. (1991), estudando o efeito de doses crescentes de fósforo (0, 200, 400 e 600 kg/ha de P_2O_5) e gesso, sobre a produção de tubérculos, verificaram um incremento no número de tubérculos por planta, quando as doses de fósforo aumentavam, atingindo o seu máximo com 470 kg/ha de P_2O_5 , mas com diminuição no peso dos mesmos.

De acordo com Portela & Lima (1992), em estudo com doses crescentes de fósforo e potássio sobre a produção da batata, houve efeitos significativos apenas para níveis de fósforo, onde a produção máxima foi alcançada com 277 kg/ha de P_2O_5 .

Muzilli et al. (1971) compararam os efeitos de doses crescentes de termofosfato magnésiano, de termofosfato Rhenânia e do superfosfato simples, aplicadas a lanço em solos ácidos do Sul do Paraná com saturação de alumínio de 80%. O termofosfato Rhenânia mostrou boa eficiência tanto como fonte de fósforo quanto como atenuador dos efeitos da acidez; o termofosfato magnésiano mostrou melhor efeito na neutralização da acidez, mas não foi comparável ao Rhenânia no aumento da disponibilidade de fósforo. O superfosfato simples, embora tivesse aumentado satisfatoriamente a disponibilidade de fósforo, não mostrou efeitos na neutralização da acidez. Nesse estudo, o teor de fósforo solúvel foi determinado pelo método Mehlich I.

Kaminski (1983), cultivando sorgo em amostras de três solos ácidos, em casa de vegetação, verificou que o desempenho de um termofosfato magnésiano

foi inferior ao do superfosfato simples, o qual, por sua vez, foi equivalente ao de um termofosfato Rhenânia.

Estudando por oito anos a eficiência agronômica de onze fontes de fósforo em solos de cerrado, Goedert & Lobato (1984) concluíram que o termofosfato magnesiano e o hiperfosfato de Gafsa foram similares ao superfosfato triplo como fontes de fósforo para as plantas desde o primeiro cultivo, quando foram aplicados a lanço e incorporados ao solo.

De acordo com revisão apresentada por Goedert & Souza (1986), em termos agronômicos, os termosfosfatos têm apresentado eficiência similar ou mesmo superior à dos superfosfatos. Além de fornecer cálcio e magnésio para as plantas, face ao seu alto teor de silicato de cálcio e magnésio, têm mostrado um efeito corretivo da acidez do solo (Lobato, 1982; Yost et al., 1982; Goedert & Lobato, 1984; Goedert & Souza, 1986).

Diversos trabalhos têm evidenciado os resultados satisfatórios apresentados pelos termofosfatos magnesianos, os quais, em várias ocasiões, têm demonstrado serem tão eficientes quanto os fertilizantes solúveis em água (Borkert et al., 1979; Feitosa et al., 1978; Goedert & Lobato, 1983; Goedert et al., 1987).

Dados regionais apresentados por Malavolta (1985) em experimentos no Estado de São Paulo com cana-de-açúcar indicaram que a eficiência relativa das fontes de P_2O_5 obedeceu a seguinte ordem: termofosfato > superfosfato simples > superfosfato triplo > fosforita de Olinda > fosfato Alvorada > apatita de Araxá.

Goedert et al. (1990) avaliaram durante quatro anos 18 fosfatos produzidos a partir de concentrados fosfáticos de Araxá, Patos de Minas, Tapira,

Catalão e Anitápolis, sendo aplicados “in natura” na cultura da soja, parcialmente solubilizados e tratados termicamente. No primeiro ano, a eficiência relativa dos termofosfatos produzidos a partir do concentrado de Patos de Minas, foi superior à do superfosfato triplo. Além de refletirem a disponibilidade de fósforo destes produtos, os resultados foram também atribuídos aos efeitos nutricionais e corretivos dos silicatos de cálcio e magnésio presentes neste material. Nos anos subsequentes, a eficiência destes produtos diminuiu, porém foi semelhante à dos superfosfatos. Segundo os autores, os resultados confirmam o potencial do tratamento térmico para a produção de fertilizantes fosfatados, mesmo a partir de concentrados fosfáticos de baixa qualidade.

Estudando o efeito da ação alcalinizante e da competição entre silicato e fosfato na eficiência do termofosfato magnesiano em solos ácidos, Baldeón (1995), concluíram que o termofosfato magnesiano elevou o teor de P-resina no solo em maior grau que o superfosfato triplo e de modo semelhante ao superfosfato triplo com corretivo; causou, ainda, aumentos do pH, da saturação por bases e do teor de sílica solúvel do solo. O termofosfato magnesiano foi a fonte que causou o maior aumento no teor de fósforo na planta de arroz, seguido do superfosfato triplo associado ao corretivo do pH e do superfosfato triplo sem corretivo.

Ainda conforme o autor, o termofosfato magnesiano e o superfosfato triplo associado ao corretivo do solo aumentaram igualmente a produção de matéria seca (nas doses de 100 e 200 mg/kg de P para o solo TE e 50, 100 e 200 mg/kg de P para o LR) e a quantidade de fósforo acumulada na planta (nas doses 100 e 200 mg/kg de P para o TE e 50 e 100 mg/kg de P para o LR), sendo esses aumentos

superiores aos obtidos com superfosfato triplo. Assim, o efeito favorável do termofosfato magnésiano sobre o aproveitamento do fósforo e o desenvolvimento das plantas se deve mais provavelmente à sua capacidade de elevar o pH do meio do que à influência benéfica da competição entre o silicato e o fosfato. O termofosfato magnésiano foi superior ao superfosfato triplo, com ou sem corretivo, quanto à produção de matéria seca e a quantidade de fósforo acumulada na planta quando aplicado nas doses de 50 mg/kg de P na Terra Roxa Estruturada; esse comportamento deve-se, provavelmente, ao efeito combinado da sua ação alcalinizante com o da competição entre o silicato que contém e o fosfato.

4.2.2. Fertilizantes fosfatados alternativos

De forma geral, no Brasil, a literatura apresenta alguns resultados que são favoráveis à utilização de lodo de esgoto e resíduo urbano na agricultura. Vários trabalhos têm constatado o seu uso na correção da acidez do solo, elevando o valor do pH e neutralizando o Al tóxico (Mazur et al., 1983a,b; Berton et al., 1989; Collier et al., 1992; Santos et al., 1992 e Sousa et al., 1993). Com relação a alteração em propriedades químicas importantes, Melo et al. (1993) verificaram que o lodo de esgoto promoveu aumentos no teor de C inorgânico e na CTC do solo.

Observou-se que o aumento na quantidade de lodo de esgoto elevou, de uma maneira geral, a disponibilidade de Zn, Mn e Cu, tanto na linha quanto na entrelinha de cultivo da cultura da cana-de-açúcar (Marreto, 1996).

Com relação aos teores de P, K, Ca e Mg, evidenciou-se um bom fornecimento destes elementos, para a cultura do milho em solo de média fertilidade tratado com lodo de esgoto, mesmo sem correção de acidez, mostrando também maior redução nos valores de H + Al (Gotardo Júnior, 1996). Souza et al. (1996) observaram que o lodo de esgoto promoveu benefícios à fertilidade do solo como fonte de bases trocáveis, principalmente Ca.

Estes resíduos têm sido eficientes como fornecedores de nutrientes às plantas, principalmente para o fósforo (Bettiol & Carvalho, 1982a,b; Villas Bôas et al., 1984; Berton et al., 1989; Marques et al., 1993).

Uma das ações importantes dos compostos de lixo urbano está relacionada à sua utilização como promotora de melhores condições do aproveitamento do fósforo aplicado ao solo, sobretudo na forma de fosfato de rocha de baixa solubilidade. Algumas pesquisas têm indicado que o enriquecimento de adubos orgânicos com fosfatos naturais pode levar à solubilização de uma fração do P desses fosfatos (Bangar et al., 1985; Mishra & Bangar, 1986; Mishra et al., 1982; Singh & Dhar, 1986).

A produção de um fertilizante fosfatado organo-mineral obtido a partir da mistura de apatita com lixo domiciliar se traduz em uma alternativa altamente promissora; além de eliminar um resíduo socialmente incômodo, contribui, ainda, com os elementos nutritivos e compostos orgânicos, e diminui o consumo de fertilizantes inorgânicos (Hernando et al., 1989). Entretanto, a pesquisa envolvendo respostas das culturas e alterações em propriedades químicas do solo, ainda necessita de resultados.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Localização do experimento e características do solo utilizado

O presente trabalho foi realizado em condições de campo, na Fazenda Experimental São Manuel, da Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu - UNESP. O município de São Manuel encontra-se a 22°44' de latitude sul e 48°34' de longitude oeste de Greenwich, com altitude em torno de 750 m. Segundo Espíndola et al. (1973), o clima da região é do tipo mesotérmico, Cwa, ou seja, subtropical úmido com estiagem no período de inverno. A precipitação média anual do município está em torno de 1433 mm, com maior concentração das chuvas de novembro a abril, com temperatura máxima de 26,2°C. A umidade relativa média do ar é de 71,5%. O solo onde foi conduzido o experimento foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro distrófico epieutrófico, A moderado, textura média, fase cerrado tropical, relevo suave ondulado (Carvalho, 1998¹); os resultados da análise química encontram-se no Quadro 1.

¹ CARVALHO, A.M. (Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP - Campus de Botucatu).

QUADRO 1 - Resultado da análise química do solo da área experimental.

pH	MO (g dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	mmol _c dm ⁻³						V (%)
			H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	
5,9	9	11	14	0,5	15	9	25	39	64

5.2. Caracterização da variedade

Neste trabalho foi empregada batata-semente da variedade Bintje, tipo 3, com diâmetro de 30-40 mm, de origem holandesa.

Segundo Jabuonski & Furumoto (1987), as plantas são de porte alto, eretas, apresentando três a quatro hastes vigorosas por planta, vegetação abundante, flores de cor branca, sem frutificação (macho estéril) e maturação semi-precoce.

Os tubérculos são graúdos, com formato alongado-achatado, polpa amarela, película lisa e brilhante e de ótima aparência, olhos em pequeno número, superficiais e agrupados mais na coroa. Apresentam muita resistência ao esverdeamento, boa conservação em armazém e são indicados para frituras e saladas; entretanto, os tubérculos dessa variedade são muito sensíveis ao embonecamento.

Com relação à resistência e tolerância à doenças, a variedade é muito suscetível à requeima, pinta preta e viroses em geral.

5.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi em blocos ao acaso, obedecendo um esquema fatorial 3x3, sendo 3 doses, 3 fontes de fósforo e além de um controle sem aplicação de fósforo, perfazendo um total de dez tratamentos com quatro repetições, num total de 40 parcelas.

As fontes de fósforo utilizadas foram: superfosfato triplo (ST), termofosfato Yoorin Master (TY) e fosfato organo mineral (OM), nas doses de 100, 200 e 300 kg/ha de P_2O_5 . Os tratamentos podem ser identificados, conforme descrição:

ST 100 = superfosfato triplo, na dose de 100 kg/ha de P_2O_5

ST 200 = superfosfato triplo, na dose de 200 kg/ha de P_2O_5

ST 300 = superfosfato triplo, na dose de 300 kg/ha de P_2O_5

TY 100 = Yorin Master, na dose de 100 kg/ha de P_2O_5

TY 200 = Yorin Master, na dose de 200 kg/ha de P_2O_5

TY 300 = Yorin Master, na dose de 300 kg/ha de P_2O_5

OM 100 = fosfato organo mineral, na dose de 100 kg/ha de P_2O_5

OM 200 = fosfato organo mineral, na dose de 200 kg/ha de P_2O_5

OM 300 = fosfato organo mineral, na dose de 300 kg/ha de P_2O_5

Testemunha = Controle

As parcelas foram constituídas de quatro linhas de 6,40 m de comprimento, com espaçamento de 0,40 m na linha e 0,80 m nas entrelinhas, com intervalos de duas linhas entre parcelas. Cada parcela apresentou 17 plantas por linha, num total de 68 plantas, sendo que foram consideradas áreas úteis das parcelas apenas as duas fileiras centrais, com um total de dezoito plantas, sendo

doze destinadas para fins de análise de crescimento e seis para as medidas relativas a produção.

5.4. Caracterização dos fertilizantes

Os fertilizantes foram caracterizados segundo métodos descritos em Lanarv (1988), cuja composição química encontra-se no Quadro 2.

QUADRO 2 - Composição química das fontes de fósforo utilizadas.

Fontes	P ₂ O ₅		CaO	MgO	B	Zn	Mn	Cu	Mo	
	total	CNA A.C.2%								
-----g kg ⁻¹ -----										
Superfosfato triplo (ST)	450	420	-	200	-	-	-	-	-	
Termofosfato "Yoorin Master"	175	-	160	280	145	1,0	5,5	1,2	0,5	0,06
Organo-mineral	154	19	34	21	0,4	-	0,03	0,06	0,01	-

5.5. Instalação e condução do experimento

O preparo do solo para a cultura constou de duas arações e três gradagens, sendo a primeira aração realizada cerca de 60 dias antes do plantio, à profundidade de 25 a 30 cm. A segunda aração foi realizada mais superficialmente, à profundidade de 20 cm.

Não foi realizada calagem em razão da saturação em bases revelada pela análise química do solo, ser adequada para a cultura da batata.

Em toda a área experimental foi aplicado 20 kg/ha de Aldicarb, procedendo-se em seguida o plantio, realizado no dia 08 de maio de 1996, semeando-se as batatas-semente à profundidade em torno de 10 cm. Antes do recobrimento, os sulcos de plantio e as batatas-sementes foram pulverizados com Iprodione, na concentração de 2 mL/L.

A recomendação de adubação foi feita de acordo com a análise química do solo e seguindo recomendações de Miranda Filho citado por Rajj et al. (1992).

Aplicou-se 80 kg/ha de N no plantio e a mesma dose em cobertura, antes da primeira amontoa, aos 30 dias após a emergência. A fonte de nitrogênio utilizada nas adubações foi o sulfato de amônio. O potássio foi totalmente colocado no plantio, na dose de 150 kg de K₂O/ha, utilizando-se de cloreto de potássio comercial.

O fósforo foi colocado totalmente no plantio, conforme o tratamento, nas quantidades indicadas no Quadro 3.

QUADRO 3 - Quantidades aplicadas dos fertilizantes fosfatados em função dos tratamentos.

FONTES	Doses de P ₂ O ₅ (kg/ha)		
	100	200	300
	-----g/parcela-----		
Superfosfato triplo	340	680	1020
Termofosfato Yoorin Master	880	1760	2640

Fosfato organo-mineral	997	1994	2991
------------------------	-----	------	------

Os tratamentos com superfosfato triplo, fosfato organo-mineral e controle, receberam micronutrientes para compensar o fornecimento pelo termofosfato Yoorin Master. As fontes e doses utilizadas constam do Quadro 4. As quantidades utilizadas no controle corresponderam àquelas referentes às doses de 300 kg/ha de P_2O_5 .

QUADRO 4 - Doses e fontes de micronutrientes acrescidas aos tratamentos superfosfato triplo, fosfato organo-mineral e controle.

FONTES	Doses de P_2O_5 (kg/ha)		
	100	200	300
	-----g/parcela-----		
Ácido bórico	5,02	10,03	15,05
Sulfato de Zn hepta hidratado	20,41	40,82	61,25
Sulfato de Mn hidratado	4,09	8,19	12,29
Sulfato de cobre	1,66	3,35	5,03
Molibdato de sódio hidratado	0,13	0,26	0,39

Após a emergência, quando as plantas contavam com aproximadamente 10 cm de altura, foram pulverizadas novamente com Iprodione, com jato dirigido para a região do colo da planta, além da pulverização da parte aérea. A partir de 25 dias foi realizada pulverização semanal com Chlorothalonil (2 mL/L), procurando-se atingir ambos os lados das folhas. Foi utilizado semanalmente Deltamethrin na concentração de 20 mL/100mL (na fase de início da germinação junto com Iprodione). Durante o ciclo da cultura houve incidência de requeima sendo o controle realizado com Metalaxyl-Manconzeb, na concentração de 2,5 g/L.

Visando o controle de plantas daninhas foram efetuadas capinas manuais até 60 dae, quando ocorreu a cobertura total do solo pela cultura.

A colheita deu-se aos 23 de agosto de 1996. As parcelas foram colhidas de uma só vez, quando toda a parte aérea havia fenecido e a película dos tubérculos encontrava-se suficientemente aderida para permitir o manuseio.

5.6. Avaliações

5.6.1. Análise de crescimento

Foram efetuadas seis coletas de plantas para determinar medidas biométricas, que expressam a produtividade vegetal, aos 20, 34, 48, 62, 76 e 90 dae (dias após emergência). Em cada amostragem foram coletadas duas plantas por parcela, conforme a Figura 1.

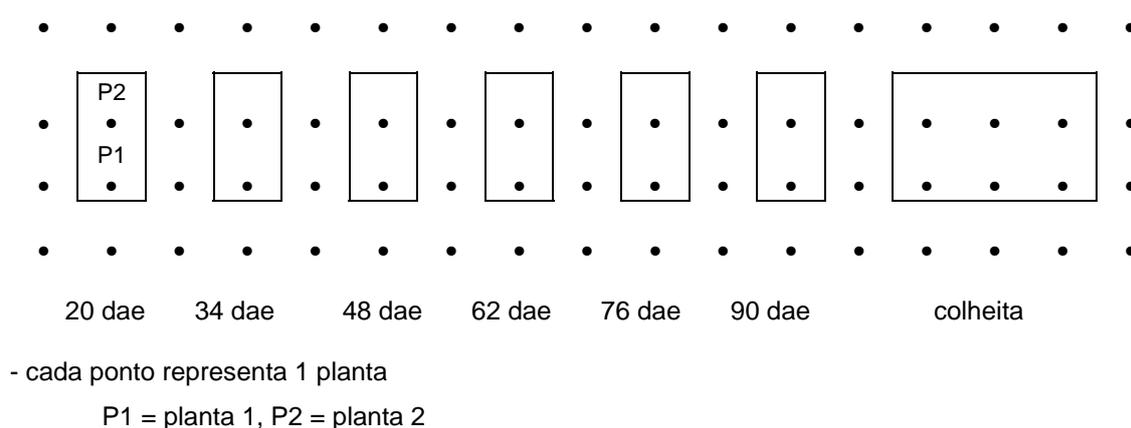


FIGURA 1 - Esquema representativo das amostragens para análise de crescimento.

Na primeira coleta considerou-se como amostra de cada parcela a soma de planta 1 (P_1) e planta 2 (P_2), sendo o material coletado de cada parcela encaminhado para galpão. Em seguida foram destacadas as folhas na região do pecíolo, obtendo-se o número total de folhas e hastes emitidas. Foram então lavadas com água de torneira e secas em papel toalha e em seguida levadas ao laboratório para obtenção do peso da matéria fresca de hastes e folhas de cada parcela. A seguir, separou-se 30 folhas de cada amostra, que foram utilizadas para obtenção da área foliar, extrapolando-se os dados para o total de folhas de cada parcela. As medições de área foliar (AF) foram realizadas nos mesmos dias das coletas de plantas, utilizando-se o integrador ótico Hayashi-Denkoh AAM-8.

O índice de Area Foliar (IAF), transformado para m^2/m^2 , foi calculado a partir da AF média de duas plantas amostradas por parcela, e do número de plantas por m^2 (NP):

$$IAF = AF \times NP$$

Determinou-se a matéria seca dos tubérculos (MSTB), dos caules (MSC) e das folhas (MSF), considerando-se a média das duas plantas coletadas por parcela, através de secagem até massa constante, em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65-75°C, obtendo-se posteriormente a massa em balança digital Deltarange PC 2200, com divisão de 0,01 g. A matéria seca total (MST) foi considerada como a soma da MSTB, MSC e MSF, convertendo-se os valores de matéria seca para kg/m^2 .

Os valores de MST, IAF e MSF foram submetidos à análise de regressão em relação ao tempo, sendo os índices fisiológicos calculados segundo o modelo exponencial cúbico, através do programa ANACRES (Portes & Castro Júnior, 1991), de acordo com as seguintes equações:

a) Área foliar específica (AFE), em m²/kg

$$AFE = \frac{IAF}{MSF}$$

b) Razão da área foliar (RAF), em m²/kg

$$RAF = \frac{IAF}{MST}$$

c) Taxa assimilatória líquida (TAL), em kg/m² dia

$$TAL = \frac{d(MST)}{dt} * \frac{1}{IAF}$$

d) Taxa de crescimento relativo (TCR), em kg/kg dia

$$TCR = \frac{d(\ln MST)}{dt}$$

e) Duração da área foliar (DAF), em m²/m² dia

$$DAF = \int_{T1}^{T2} IAF dt$$

5.6.2. Produção comercial e número total de tubérculos

Por ocasião da colheita, aos 105 dias após o plantio, foram avaliadas as seguintes variáveis, sempre levando em conta a média de 6 plantas de cada parcela:

- 1 - Produtividade total comercial (PTC), em kg/ha: matéria fresca de tubérculos com diâmetro superior à 20,0 mm (Brasil, 1977).
- 2 -Número total de tubérculos (NTB): quantidade total de tubérculos por hectare, com diâmetro superior à 20,0 mm.

5.6.3. Diagnose nutricional

Para a análise foliar dos macronutrientes e micronutrientes, foram coletados os pecíolos das 4^{as} folhas a partir do ápice, de 6 plantas por parcela, aos 48 dae. A coleta e o preparo do material vegetal foram feitos de acordo com a metodologia descrita por Malavolta et al. (1989). As concentrações de nutrientes foram determinadas seguindo metodologia de Bataglia et al. (1983).

5.6.4. Índice de Eficiência Agronômica (IEA)

O Índice de Eficiência Agronômica (IEA) dos fosfatos testados foi calculado com base no diferencial de produção obtido entre os fosfatos em teste e o superfosfato triplo.

5.6.5. Análise estatística

As análises estatísticas foram executadas através do programa de computador ESTAT, segundo Banzato & Kronka (1989). Os dados foram submetidos à análise de regressão através do programa AJUSTE (Zullo Jr. & Arruda, 1986).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Análise de crescimento

Para facilitar a visualização na comparação entre as doses e as fontes, todas as figuras referentes à análise de crescimento foram elaboradas subdivididas em seis gráficos, identificados por letras A até F. Visando agilizar a compreensão, ressalta-se que os gráficos A, B e C de cada Figura comparam as três doses dentro de cada fonte, enquanto os gráficos D, E e F comparam as três fontes dentro de cada dose; todos os gráficos incluem, também, a comparação com o tratamento controle (testemunha).

6.1.1. Índice de área foliar (IAF)

As curvas e os valores médios do índice de área foliar (IAF) obtidos para os diferentes tratamentos, podem ser vistos nos gráficos da Figura 2.

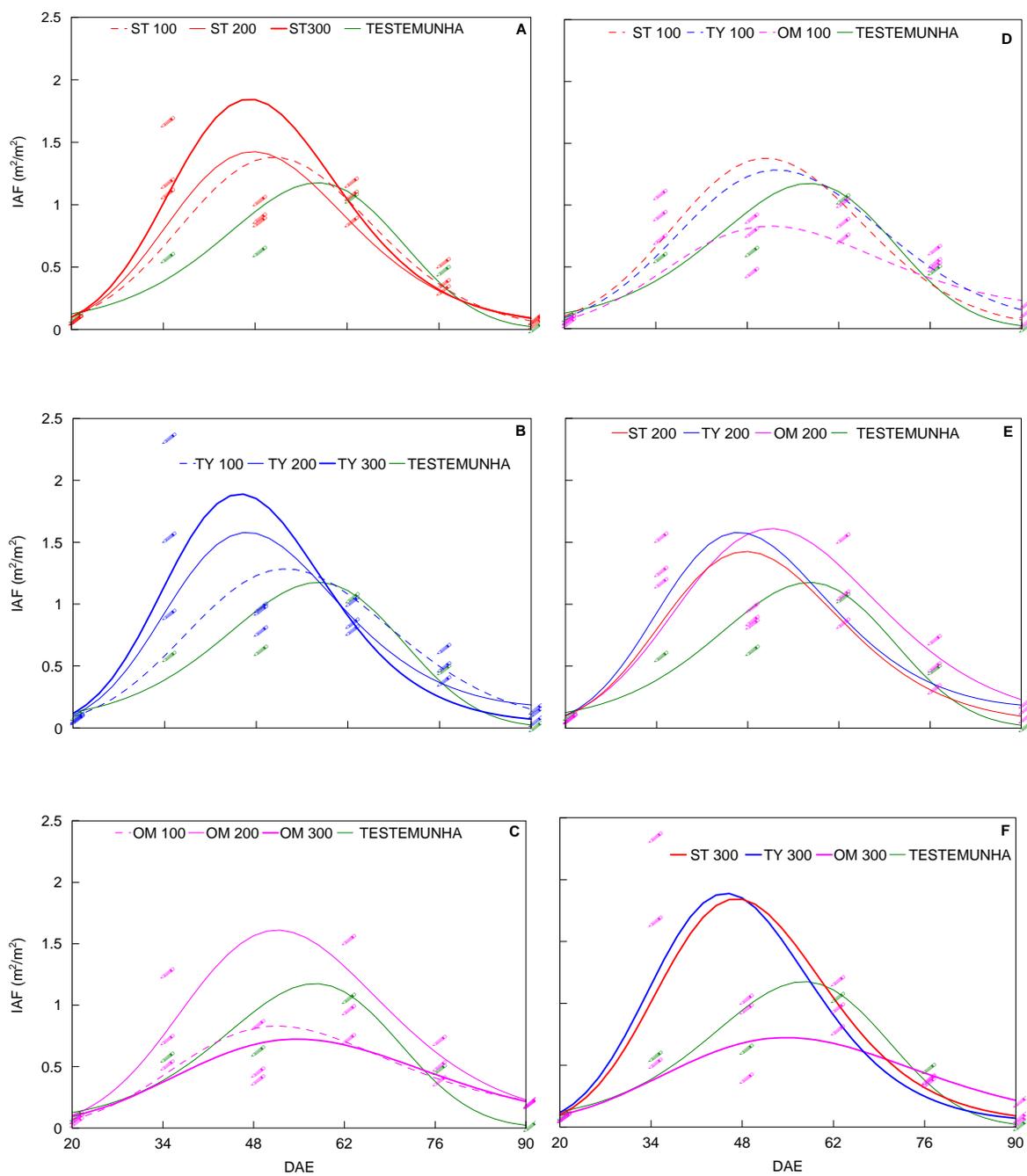


FIGURA 2 - Variações obtidas para o índice de área foliar (IAF), em relação às épocas de amostragem: a) entre doses dentro de cada fonte (A B C); b) entre fontes (D E F)

No Quadro 5 encontram-se as equações exponenciais cúbicas ajustadas aos dados originais do IAF em função do tempo (dae), com seus respectivos coeficientes de determinação. Observa-se que os coeficientes de determinação, superiores a 0,90, indicam que uma elevada porcentagem da variação da variável dependente (IAF) foi explicada pela variação da variável independente (dae) e se obteve um ajuste satisfatório do ponto de vista estatístico.

QUADRO 5 - Regressões dos valores do índice de área foliar (IAF) em relação às épocas de amostragem.

Tratamento	Modelo Exponencial Cúbico	r ²
ST 100	$y=0,0006535662 \cdot \text{EXP}(0,3300489x + (-0,00410014) \cdot (X^2) + (0,00001121286) \cdot (X^3))$	0,92
ST 200	$y=0,000139687 \cdot \text{EXP}(0,451525 \cdot X + (-0,006760407) \cdot (X^2) + (0,00002833159) \cdot (X^3))$	0,93
ST 300	$y=0,00006293599 \cdot \text{EXP}(0,510531 \cdot X + (-0,007769797) \cdot (X^2) + (0,00003327683) \cdot (X^3))$	0,92
TY 100	$y=0,0005865251 \cdot \text{EXP}(0,331724 \cdot X + (-0,004266381) \cdot (X^2) + (0,00001406522) \cdot (X^3))$	0,91
TY 200	$y=0,00006021702 \cdot \text{EXP}(0,5223836 \cdot X + (-0,008362836) \cdot (X^2) + (0,00003944961) \cdot (X^3))$	0,90
TY 300	$y=0,00005533486 \cdot \text{EXP}(0,5366349 \cdot X + (-0,008462809) \cdot (X^2) + (0,00003760056) \cdot (X^3))$	0,87
OM 100	$y=0,0003523495 \cdot \text{EXP}(0,3612469 \cdot X + (-0,005254529) \cdot (X^2) + (0,00002266576) \cdot (X^3))$	0,85
OM 200	$y=0,000366197 \cdot \text{EXP}(0,3788203 \cdot X + (-0,005234866) \cdot (X^2) + (0,00002023498) \cdot (X^3))$	0,88
OM 300	$y=0,00255803 \cdot \text{EXP}(0,2366712 \cdot X + (-0,002995321) \cdot (X^2) + (0,00001014976) \cdot (X^3))$	0,84
Testemunha	$y=0,04486338 \cdot \text{EXP}(0,01373702 \cdot X + (0,002488784) \cdot (X^2) + (-0,00003025818) \cdot (X^3))$	0,96

Observa-se nos gráficos A, B e C da Figura 2 que o comportamento da curva do IAF em relação ao tempo aumenta à medida que a cultura se desenvolve, explorando o máximo espaço disponível por volta dos 50 dae, para depois decrescer. Observa-se também que o IAF apresentou tendência de valores mais elevados com

o aumento da dose de fósforo aplicado para o ST e TY, enquanto para o OM o ponto de máxima foi obtido com a dose intermediária de fósforo.

Considerando o IAF como um índice da eficiência funcional das partes produtivas de um vegetal (Hunt, 1982), pode-se dizer que as fontes afetaram significativamente esta eficiência na cultura da batata.

Os máximos valores atingidos pelo IAF neste trabalho são menores do que os relatados por Kleinkopf (1982) e Wright & Stark (1990), para a cultura da batata em seu estágio de crescimento. A redução do IAF no final do período estudado, justifica-se pela senescência e abscisão foliar.

O modelo exponencial polinomial, tem sido utilizado para representar a variação do IAF em função do tempo, para espécies de ciclo curto, para fins de análise de crescimento como relatam Pereira & Arruda (1987) e Portes & Castro Júnior (1991). Especificamente para a cultura da batata, Torres (1988) encontrou um ajuste satisfatório para o modelo exponencial quadrático, enquanto Aguiar Netto (1997) encontrou resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho.

Na comparação das fontes, observa-se nos gráficos D, E e F da Figura 2, que as maiores diferenças ocorreram dentro da dose mais elevada, na qual os valores do IAF para as fontes ST e TY são nitidamente superiores à fonte OM e ao tratamento controle. Observa-se, principalmente na maior dose, que os maiores valores de IAF para as fontes ST e TY ocorreram ao redor dos 45 dae, enquanto para o controle e OM, os valores de máxima ocorreram cerca de duas semanas após.

6.1.2. Matéria seca total (MST)

As curvas que correlacionam a MST em função dos dae podem ser vistas na Figura 3, bem como, os valores médios observados. As equações de regressão, com seus respectivos coeficientes de determinação, obtidas para a matéria seca total (MST) se encontram no Quadro 6.

Observa-se que, de modo análogo ao IAF, a MST ajustou-se bem ao modelo exponencial cúbico. Elevados coeficientes de determinação para equações polinomiais para a cultura da batata foram também obtidos por Torres (1988) e Aguiar Netto (1997).

A evolução da MST da cultura da batata, durante o período, pode ser vista na Figura 3. Verifica-se, em todos os tratamentos, aumento nessa variável com o passar do tempo, sendo que apresenta em função do tratamento um comportamento semelhante ao relatado por Paula et al. (1986), trabalhando com as cultivares Achat e Mantiqueira.

Segundo Rosolem (1980) observa-se um lento acúmulo da matéria seca total, em plantas de soja, com cerca de 30 dias após a semeadura, sofrendo aceleração considerável, posteriormente. Estes mesmos resultados foram obtidos por Rodrigues (1990) para plantas de estilosantes, confirmando os resultados obtidos neste trabalho para matéria seca total.

A partir da quarta coleta observa-se um decréscimo na MST que pode ser atribuído, principalmente, à redução no IAF (Turner & Begg; 1981, Urchei; 1992;

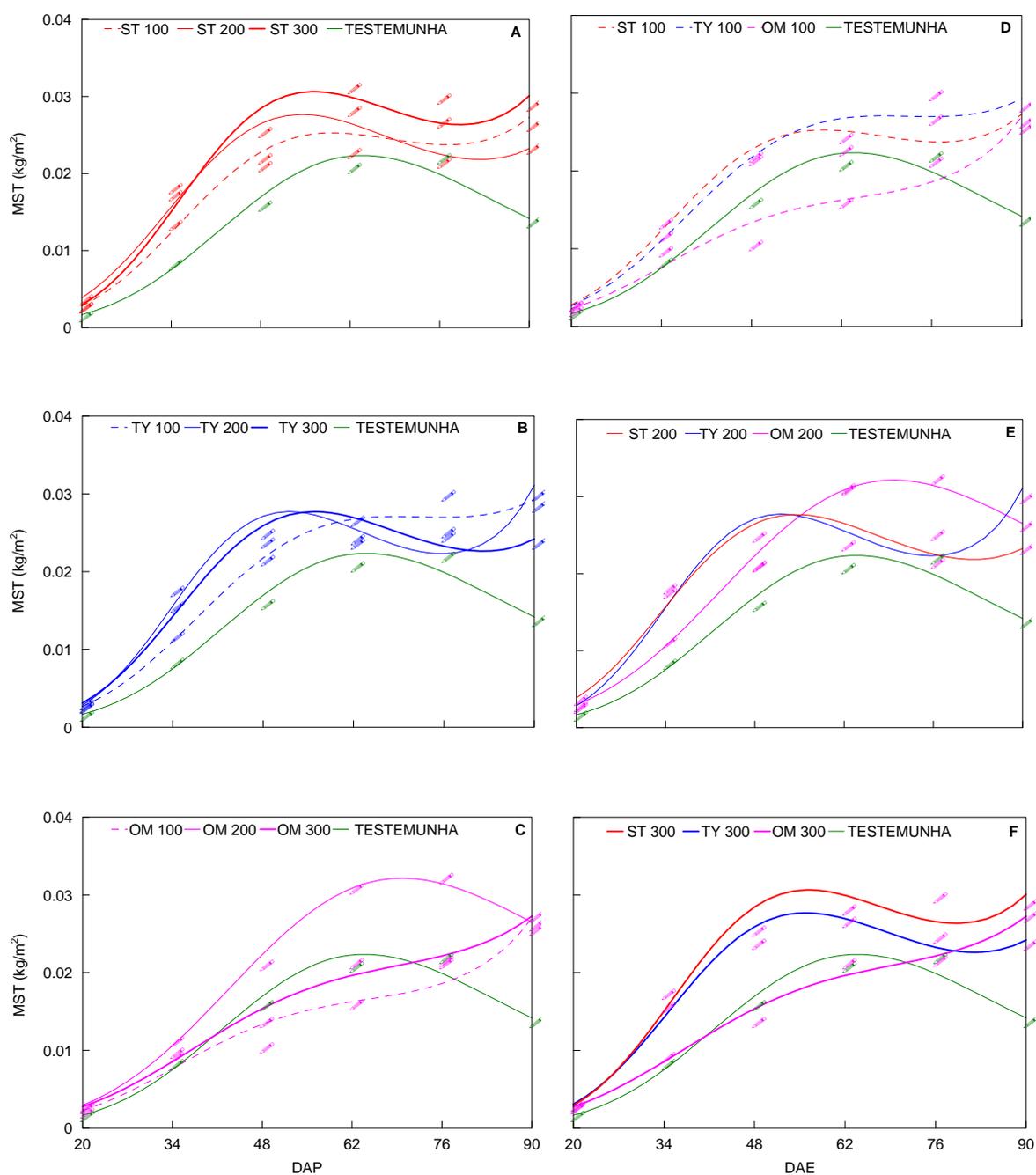


FIGURA 3 - Variações obtidas para a matéria seca total (MST), em relação às épocas de amostragem: a) entre doses dentro de cada fonte (A B C); b) entre fontes (D E F)

Aguiar Netto, 1993), que possui estreita correlação com o desenvolvimento da área foliar para a cultura da batata (Zaag, 1982; Wolfe et al., 1983).

QUADRO 6 - Regressões dos valores da matéria seca total (MST) em relação às épocas de amostragem.

Tratamento	Modelo Exponencial Cúbico	r ²
ST 100	$y=0,00003616348.EXP(0,297144.X+(-0,004432057).(X^2)+(0,00002165008).(X^3))$	0,99
ST 200	$y=0,0000547831.EXP(0,2931807.X+(-0,004470959).(X^2)+(0,00002178183).(X^3))$	0,96
ST 300	$y=0,0000218837.EXP(0,337173.X+(-0,005121627).(X^2)+(0,00002519269).(X^3))$	0,99
TY 100	$y=0,00005596342.EXP(0,2581001.X+(-0,003582921).(X^2)+(0,00001653409).(X^3))$	0,99
TY 200	$y=0,0000112068.EXP(0,3891699.X+(-0,006303787).(X^2)+(0,00003287258).(X^3))$	0,99
TY 300	$y=0,00003293969.EXP(0,3116098.X+(-0,004684113).(X^2)+(0,00002262824).(X^3))$	0,99
OM 100	$y=0,00006991303.EXP(0,2373688.X+(-0,003538088).(X^2)+(0,00001817725).(X^3))$	0,96
OM 200	$y=0,00014922.EXP(0,1879081.X+(-0,002076037).(X^2)+(0,000006972695).(X^3))$	0,99
OM 300	$y=0,0001367984.EXP(0,1993251.X+(-0,002724246).(X^2)+(0,00001292391).(X^3))$	0,99
Testemunha	$y=0,00004127675.EXP(0,2359681.X+(-0,002763787).(X^2)+(0,000009585589).(X^3))$	0,99

Esse mesmo comportamento da MST pode ser observado nos gráficos A, B e C da Figura 3 para o ST e TY, enquanto para o OM verifica-se um aumento contínuo da MST com o passar do tempo, exceto para a dose intermediária do OM e para o controle.

Respostas mais favoráveis ao termofosfato em relação aos superfosfatos foram observadas em vários experimentos, conforme mostra revisão efetuada por Goedert & Souza (1986), e em parte são atribuídas ao efeito nutricional e alcalinizante dos silicatos de cálcio e magnésio presentes no termofosfatos. No presente trabalho, para esta variável, não foram encontradas diferenças.

Na comparação das fontes, observa-se nos gráficos D, E e F da Figura 3 que o comportamento da curva de MST para a fonte OM é nitidamente diferente das fontes ST e TY.

Verifica-se também que as maiores diferenças ocorreram dentro da dose mais elevada, na qual os valores da MST para as fontes ST e TY são superiores à fonte OM e ao tratamento controle. Nota-se também que na maior dose, os maiores valores de MST para as fontes ST e TY ocorreram ao redor dos 55 dae enquanto para o tratamento controle os valores de máxima ocorreram cerca de uma semana após. Para a fonte OM o ponto de máxima foi obtido em diferentes dae com o aumento da dose de fósforo aplicado.

Estes resultados encontrados para as fontes ST e TY, são concordantes com os da literatura, que segundo Paula et al. (1986) constataram redução para se alcançar o ponto de máxima de MST nos tratamentos que foram adubados.

6.1.3. Matéria seca dos tubérculos (MSTB)

Na Figura 4 encontram-se as curvas de matéria seca dos tubérculos (MSTB) em função do tempo (dae). As equações e seus respectivos coeficientes de determinação encontram-se no Quadro 7. Constata-se que o modelo polinomial cúbico ajustou-se bem à MSTB, enquanto Torres (1988) observou para a cultura da batata, o modelo quadrático. O modelo exponencial cúbico representativo do comportamento da MSTB em função do tempo, também foi observado por Aguiar

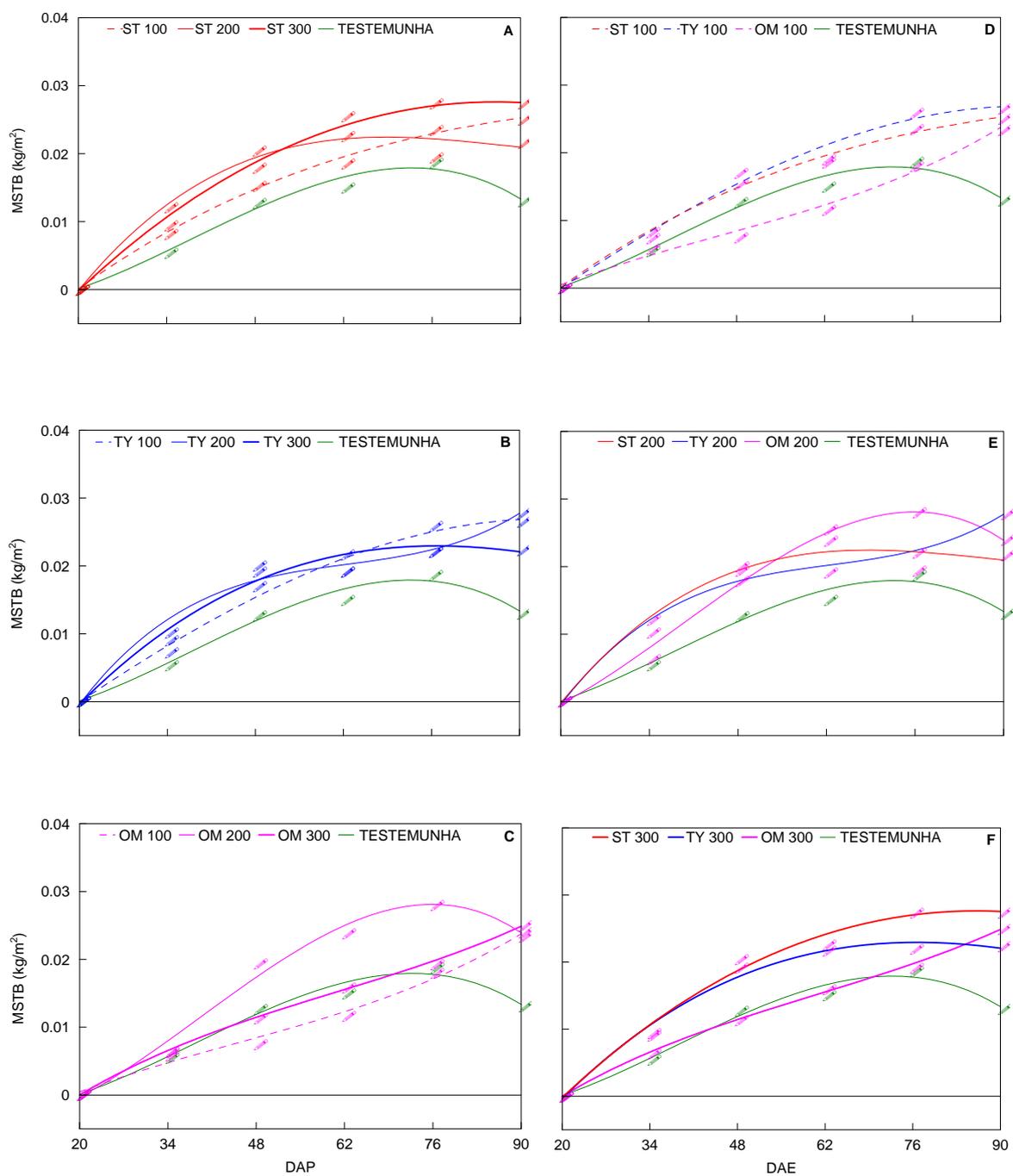


FIGURA 4 - Variações obtidas para a matéria seca dos tubérculos (MSTB), em relação às épocas de amostragem: a) entre doses dentro de cada fonte (A B C); b) entre fontes (D E F)

Netto (1997) para a cultura da batata, trabalhando com diferentes lâminas de irrigação.

Observa-se nos gráficos A, B da Figura 4 que ao longo do ciclo da cultura da batata percebe-se um acúmulo progressivo da MSTB, comportamento esperado para um órgão de reserva, padrão semelhante ao obtido por Wolfe et al. (1983). O mesmo comportamento não é observado no gráfico C da Figura 4.

QUADRO 7 - Regressões polinomiais dos valores da matéria seca dos tubérculos (MSTB) em relação às épocas de amostragem.

Tratamento	Modelo Exponencial Cúbico	r ²
ST 100	$y = -0,01565282 + (0,0009145459).X + (-0,000006660634).(X^2) + (0,00000001723135).(X^3)$	0,99
ST 200	$y = -0,03097079 + (0,001977258).X + (-0,00002361194).(X^2) + (0,00000008948682).(X^3)$	0,95
ST 300	$y = -0,02081347 + (0,00118876).X + (-0,000008028967).(X^2) + (0,000000008793837).(X^3)$	0,99
TY 100	$y = -0,01308011 + (0,0006740468).X + (-0,0000007109222).(X^2) - (0,00000002059396).(X^3)$	0,98
TY 200	$y = -0,03639587 + (0,002471618).X + (-0,0000375646).(X^2) + (0,0000002002207).(X^3)$	0,98
TY 300	$y = -0,0237045 + (0,001417049).X + (-0,00001316287).(X^2) + (0,0000000341105).(X^3)$	0,99
OM 100	$y = -0,008422225 + (0,0005586294).X + (-0,000006701877).(X^2) + (0,00000004961781).(X^3)$	0,99
OM 200	$y = -0,004902065 - (0,0001009768).X + (0,00001986733).(X^2) - (0,0000001687778).(X^3)$	0,99
OM 300	$y = -0,0139631 + (0,0008719692).X + (-0,000009694764).(X^2) + (0,00000005334472).(X^3)$	0,99
Testemunha	$y = -0,00266233 - (0,00009872485).X + (0,00001440704).(X^2) - (0,0000001259115).(X^3)$	0,98

Observa-se também no gráfico C da Figura 4 que a MSTB apresentou tendência de valores mais elevados com o aumento da dose de fósforo aplicado para as doses de 100 e 300 kg/ha de P₂O₅ para a fonte OM, enquanto para a dose intermediária de fósforo a MSTB mostra um crescimento progressivo ao longo do ciclo da cultura e se diferencia dos demais por apresentar um efeito depressivo na

MSTB, a partir da quinta coleta. Este comportamento é também observado para o controle.

Na comparação das fontes, verifica-se nos gráficos D, E e F da Figura 4 doses de 100 e 300 kg/ha de P_2O_5 , enquanto na dose intermediária o padrão de crescimento difere entre essas duas fontes.

Observa-se maiores diferenças no padrão de crescimento da MSTB para a fonte OM com o aumento da dose de fósforo aplicado, principalmente na dose intermediária de fósforo em que o comportamento da MSTB segue o mesmo comportamento do tratamento controle, entretanto com valores mais elevados. Nota-se que os valores de MSTB na dose intermediária de fósforo aplicado para a fonte OM são nitidamente superiores às fontes ST, TY e ao tratamento controle, à partir dos 50 dae.

Observa-se também, principalmente na maior dose, que os valores de MSTB para as fontes ST e TY são superiores à fonte OM e ao tratamento controle, entretanto, nota-se que na sexta coleta os valores de MSTB para a fonte OM ultrapassa os valores obtidos para a fonte TY.

6.1.4. Matéria seca das folhas (MSF)

As curvas e os valores médios da matéria seca das folhas (MSF) observados para os diferentes tratamentos, podem ser vistos nos gráficos da Figura 5. As equações exponenciais cúbicas ajustadas aos dados originais da MSF e seus

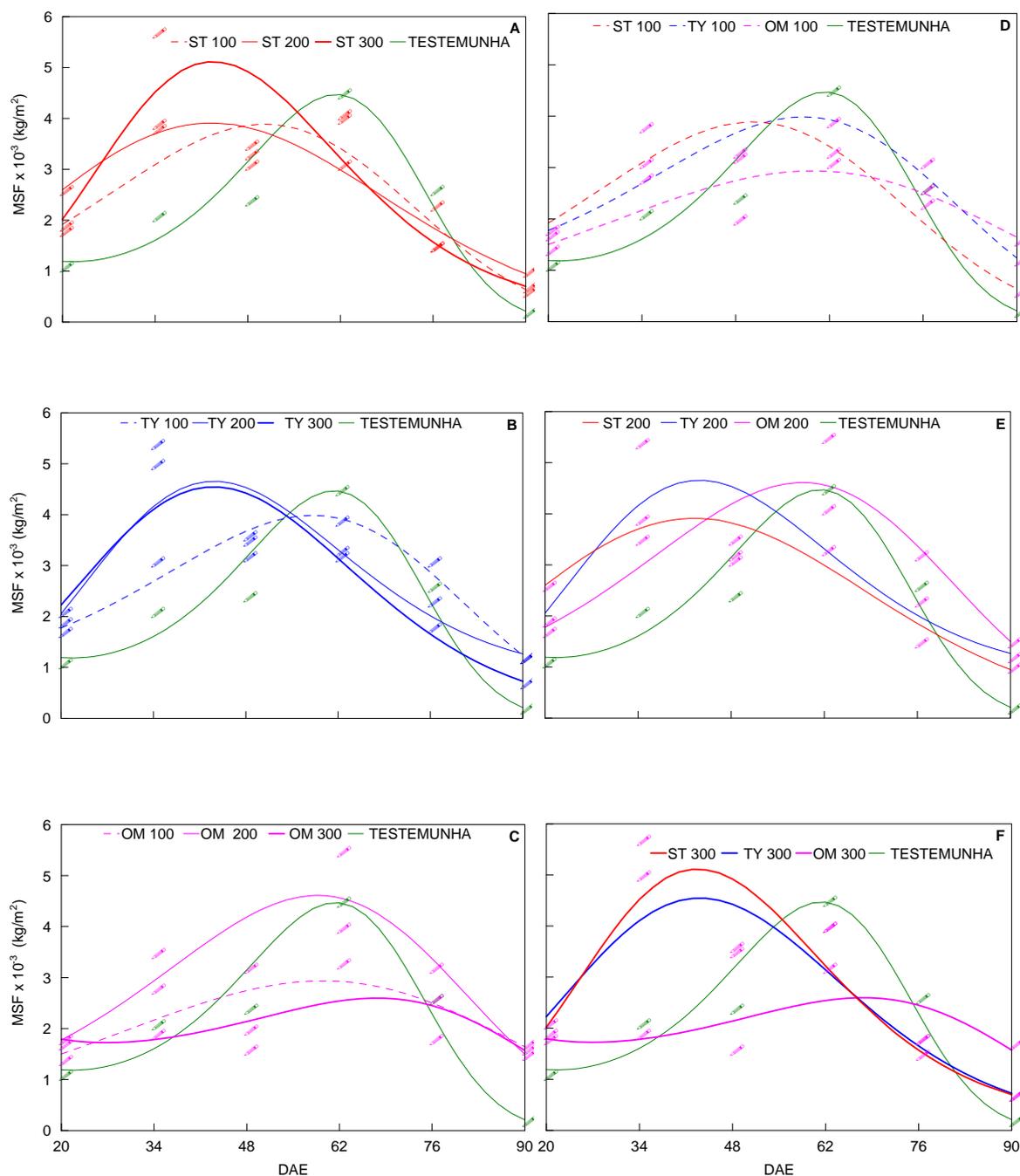


FIGURA 5 - Variações obtidas para a matéria seca das folhas (MSF), em relação às épocas de amostragem: a) entre doses dentro de cada fonte (A B C); b) entre fontes (D E F)

respectivos coeficientes de determinação encontram-se no Quadro 8. Resultados semelhantes foram obtidos por Aguiar Netto (1997).

QUADRO 8 - Regressões dos valores da matéria seca das folhas (MSF) em relação às épocas de amostragem.

Tratamento	Modelo Exponencial Cúbico	r ²
ST 100	$y=0,0007636342 \cdot \text{EXP}(0,04946992 \cdot X + (-0,00004656211) \cdot (X^2) - (0,000005838177) \cdot (X^3))$	0,95
ST 200	$y=0,0008223716 \cdot \text{EXP}(0,07834666 \cdot X + (-0,001093707) \cdot (X^2) + (0,000002675821) \cdot (X^3))$	0,88
ST 300	$y=0,000119642 \cdot \text{EXP}(0,1991328 \cdot X + (-0,003154122) \cdot (X^2) + (0,00001288953) \cdot (X^3))$	0,92
TY 100	$y=0,001084337 \cdot \text{EXP}(0,01587813 \cdot X + (0,000609101) \cdot (X^2) - (0,000008547577) \cdot (X^3))$	0,95
TY 200	$y=0,0001667583 \cdot \text{EXP}(0,178796 \cdot X + (-0,002925254) \cdot (X^2) + (0,00001320913) \cdot (X^3))$	0,88
TY 300	$y=0,0002897603 \cdot \text{EXP}(0,1410996 \cdot X + (-0,002101351) \cdot (X^2) + (0,00000718775) \cdot (X^3))$	0,96
OM 100	$y=0,0007810182 \cdot \text{EXP}(0,03475441 \cdot X + (-0,00004596447) \cdot (X^2) - (0,00000275887) \cdot (X^3))$	0,67
OM 200	$y=0,0008488707 \cdot \text{EXP}(0,03247964 \cdot X + (0,0003666881) \cdot (X^2) - (0,000007306235) \cdot (X^3))$	0,88
OM 300	$y=0,003719795 \cdot \text{EXP}(-0,06586772 \cdot X + (0,001711073) \cdot (X^2) - (0,0000120613) \cdot (X^3))$	0,32
Testemunha	$y=0,005917528 \cdot \text{EXP}(-0,1685843 \cdot X + (0,005268912) \cdot (X^2) - (0,00004230595) \cdot (X^3))$	0,97

Torres (1988) observou o modelo exponencial polinomial como o representativo do comportamento da MSF em função do tempo para a cultura da batata.

Observa-se nos gráficos A, B e C da Figura 5, para todos os tratamentos a partir do quarto estágio vegetativo, uma diminuição na MSF e segundo Wolfe et al. (1983) a partir dos 60 dae a velocidade de crescimento das folhas se reduz e que durante o quarto estágio vegetativo da cultura da batata, as plantas começam a fenecer e as folhas a cair (Kleinkopf, 1982; Wright & Stark, 1990).

Observa-se também que apenas o tratamento controle, a dose de 100 kg/ha de P_2O_5 do TY e a dose intermediária de fósforo aplicada para o OM, apresentam comportamento semelhante ao relatado por Wolfe et al. (1983) e que para os demais tratamentos o ponto de máxima foi obtido por volta dos 40 dae, enquanto para o OM os valores de máxima para as doses de 100 e 300 kg/ha de P_2O_5 não são nítidos.

Nota-se que o comportamento da MSF em relação ao tempo, para as fontes ST e TY foram semelhantes, enquanto para o OM verifica-se um achatamento da curva de MSF, mostrando que o fosfato organo-mineral, na maior dose, apresentou um efeito depressivo para MSF.

Na comparação de fontes, observa-se nos gráficos D, E e F da Figura 5 que na menor dose de fósforo aplicada o tratamento controle apresentou o ponto de máxima com valor superior a todos os tratamentos. Observa-se, principalmente na maior dose, que os maiores valores de MSF para as fontes ST e TY ocorreram ao redor dos 40 dae, enquanto para o tratamento controle os valores de máxima ocorreram por volta dos 60 dae.

6.1.5. Área foliar específica (AFE)

Os resultados obtidos para área foliar específica (AFE), ao longo do ciclo da cultura da batata, podem ser vistos na Figura 6.

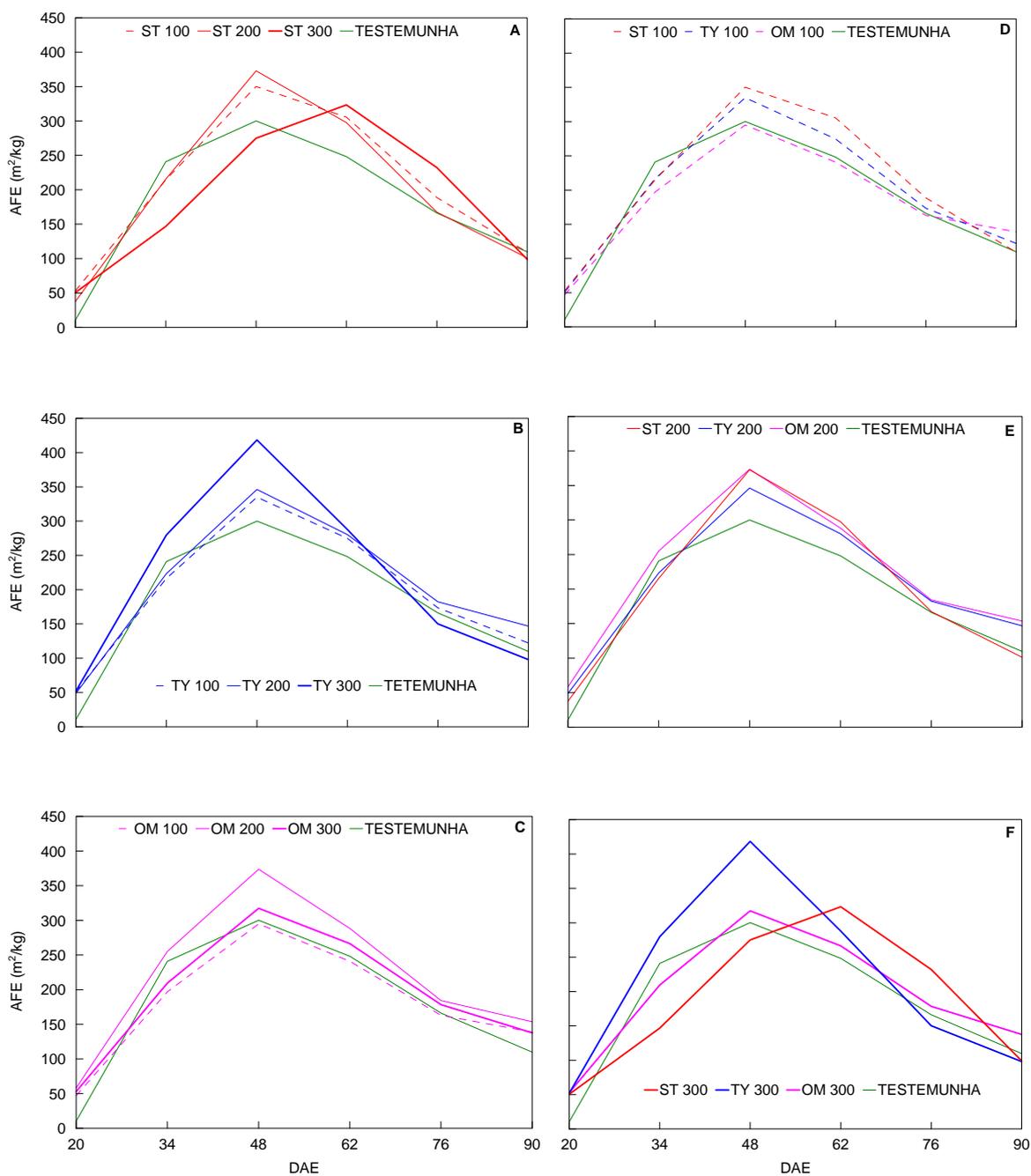


FIGURA 6 - Variações obtidas para a área foliar específica (AFE), em relação às épocas de amostragem: a) entre doses dentro de cada fonte (A B C); b) entre fontes (D E F)

Observa-se nos gráficos A, B e C da Figura 6 que a AFE apresentou valores mais elevados para as fontes ST e OM com a dose intermediária de fósforo, enquanto para o TY o maior valor de AFE foi obtido na maior dose de fósforo.

A AFE representa as diferenças no espessamento foliar, ou seja, permite verificar se as plantas estão acumulando fotoassimilados em suas folhas ou translocando-os para outros órgãos (Radford, 1967).

De acordo com Benincasa (1988) a área foliar é um componente morfológico e a massa, um componente anatômico de uma espécie vegetal, pois está relacionado à composição interna (número ou tamanho das células do mesofilo foliar). Infere-se daí que o inverso da AFE reflete a espessura das folhas.

A AFE relaciona a superfície com o peso da matéria seca da própria folha. Assim, parece claro, que no início do desenvolvimento, por volta dos 48 dae, os valores da AFE devem ser maiores, revelando folhas pouco espessas, com pouca matéria seca e pequena área foliar, concordantes com os resultados obtidos e, portanto, de acordo com o conceito desse parâmetro da análise de crescimento. É evidente que à medida que a área foliar se desenvolve, ocorre também acúmulo da matéria seca dessas folhas e, visto que a AFE relaciona a superfície com o peso desse órgão do vegetal, a tendência é a queda dos valores deste parâmetro fisiológico, para estabilizar-se no final do ciclo. Tais resultados estão diretamente relacionados à translocação de nutrientes que ocorre da folha para os tubérculos. Possivelmente as folhas com menor espessura translocaram mais nutrientes para os órgãos de reservas, do que as folhas mais espessas.

Assim, parece lógico que no início do desenvolvimento vegetativo os valores da AFE devem ser maiores, reduzindo a seguir e tornando-se constantes posteriormente, conforme analisou Rodrigues (1990). Nesse sentido, pode-se inferir que inicialmente as folhas das plantas de batata acumulam reservas para depois translocarem para os tubérculos.

Na comparação das fontes, observa-se nos gráficos D, E e F da Figura 6 que as maiores diferenças ocorreram dentro da dose mais elevada, na qual os valores da AFE para a fonte TY são nitidamente superiores às demais fontes. Observa-se, na maior dose, que os maiores valores de AFE para as fontes TY, OM e controle ocorreram ao redor dos 48 dae, enquanto para o ST os valores de máxima ocorreram por volta dos 60 dae. Nota-se que na dose mais elevada a fonte OM apresenta comportamento semelhante ao controle, com menores médias de AFE.

6.1.6. Razão de área foliar (RAF)

O efeito dos tratamentos sobre a razão de área foliar (RAF) ao longo do ciclo da cultura da batata, estão expostos na Figura 7.

Observa-se nos gráficos A, B e C da Figura 7 que a RAF apresentou tendência de valores mais elevados com o aumento da dose de fósforo aplicado para o ST e TY, enquanto para o OM os maiores valores foram obtidos com a dose intermediária de fósforo.

De acordo com Rodrigues (1982) a RAF representa a dimensão relativa do aparelho fotossintético, sendo bastante apropriado à avaliação dos efeitos

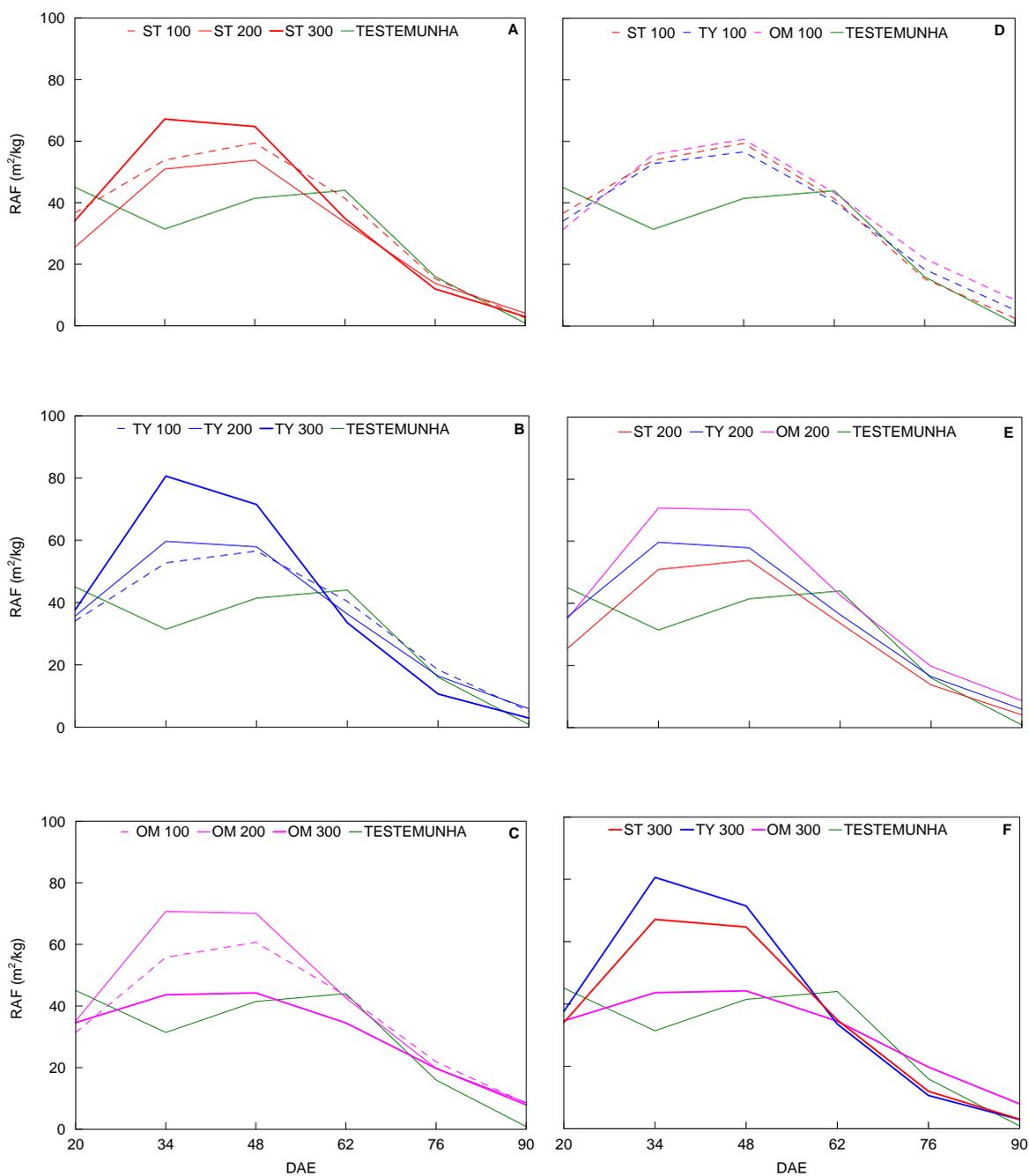


FIGURA 7 - Variações obtidas para a razão de área foliar (RAF), em relação às épocas de amostragem: a) entre doses dentro de cada fonte (A B C); b) entre fontes (D E F)

genotípicos, climáticos e de comunidade vegetal. Segundo Benincasa (1988) a RAF expressa, também, a área foliar útil para a fotossíntese, sendo um componente morfo-fisiológico da análise de crescimento.

Pode-se inferir que com o aumento da dose de superfosfato triplo e do termofosfato Yoorin Master para 300 kg de P_2O_5 /ha, beneficia-se o tamanho relativo do aparelho fotossintético, resultando numa maior produção de matéria seca na cultura da batata.

Na comparação das fontes, observa-se nos gráficos D, E e F da Figura 7 que as maiores diferenças ocorreram dentro da dose mais elevada, na qual os valores da RAF para as fontes TY e ST são nitidamente superiores à fonte OM e ao tratamento controle. Nota-se que com o aumento da dose de fósforo aplicada para a fonte OM, houve uma diminuição nos valores da RAF. Verifica-se que a RAF decresce ao longo do ciclo da batata, à partir dos 48 dae, enquanto para o controle a RAF decresce à partir dos 60 dae.

A evolução da RAF com o tempo assemelha-se ao padrão relatado por Lopes et al. (1982), Aguiar Neto (1993) e Urchei (1992), ou seja, decresce com o desenvolvimento da cultura da batata, indicando uma partição diferencial de fotoassimilados, porque enquanto a MST continua a aumentar o IAF começa a reduzir.

Em trabalho com a cultura do feijão, Ascêncio & Fargas (1973) concluíram que a RAF é um dos índices de crescimento que melhor reflete as condições de produtividade e eficiência do sistema fotossintético dessa planta. Wallace & Munger (1965), realizando análise de crescimento de feijão, observaram

que os cultivares mais produtivos apresentaram maiores valores de área foliar e de razão de área foliar, sendo que em alguns deles, a taxa de crescimento relativo foi acompanhada de razão de área foliar mais elevada, sugerindo ser este o principal fator responsável por diferenças nesta taxa.

6.1.7. Taxa assimilatória líquida (TAL)

Os resultados referentes à taxa assimilatória líquida (TAL) encontram-se na Figura 8. Observa-se nos gráficos A, B e C da Figura 8 que de maneira geral, na fase inicial de desenvolvimento, houve valores maiores de TAL, sendo que ocorre uma redução desse índice com o desenvolvimento do ciclo da cultura da batata, com períodos de menor incremento, com valores próximos a zero. Observa-se no final do período estudado um aumento da TAL, para todos os tratamentos, exceto para a dose intermediária de fósforo da fonte OM.

Alguns autores apresentam resultados concordantes com os aqui obtidos, como os de Watson (1952), Kumura & Naniwa (1965), Buttery (1969) e Milthorpe & Moorby (1974), os quais obtiveram diminuição na taxa assimilatória líquida, com a progressão do ciclo do vegetal. Em soja, Rodrigues (1982) relatou que a taxa assimilatória líquida diminuiu com a idade da planta.

Observa-se também que a TAL à partir dos 76 dae apresentou tendência de valores mais elevados com o aumento da dose de fósforo aplicada para a fonte ST, enquanto para o TY e OM ocorreram com a dose intermediária de fósforo e com a menor dose de fósforo, respectivamente. Nota-se também que os valores da

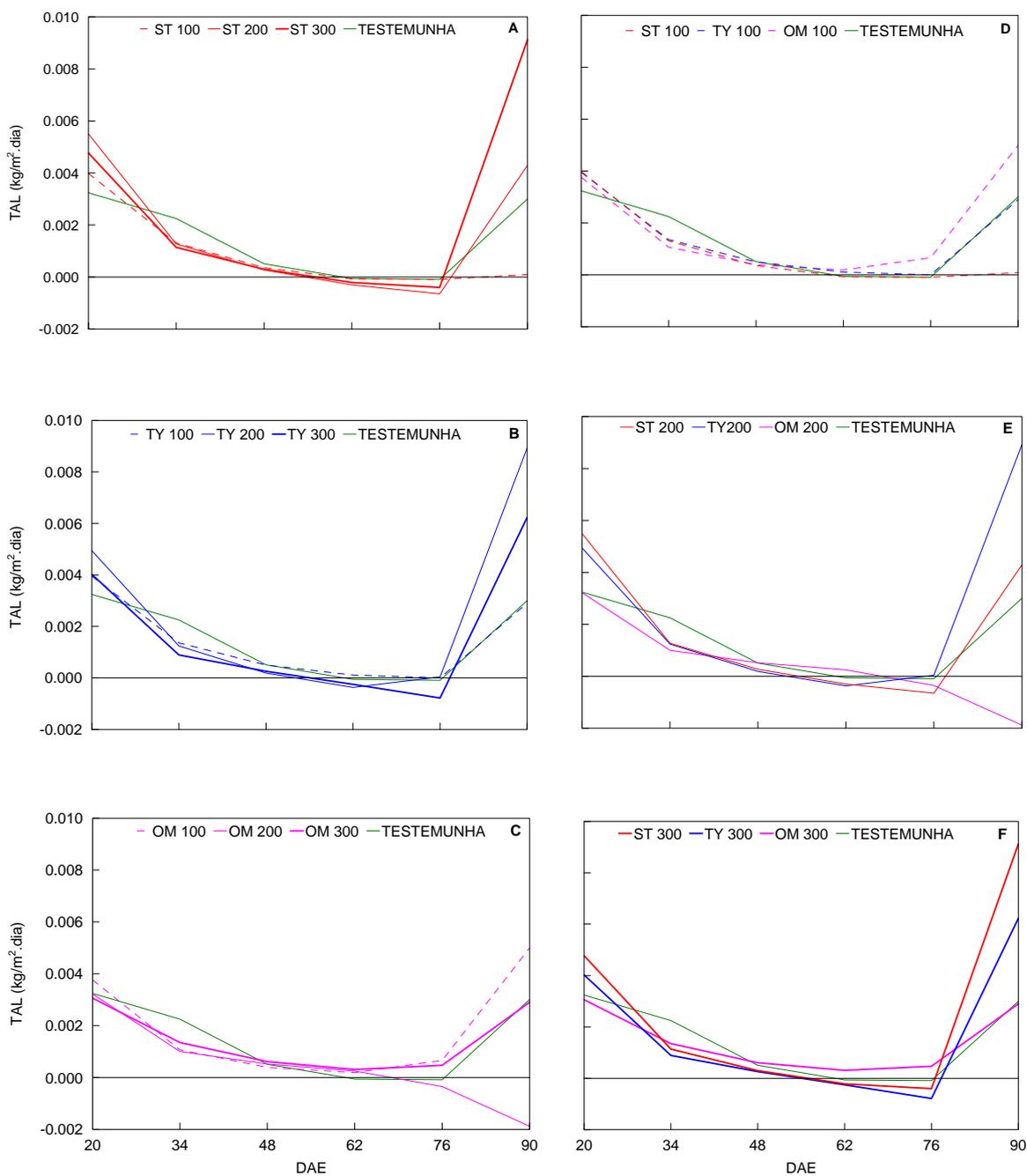


FIGURA 8 - Variações obtidas para a taxa assimilatória líquida (TAL), em relação às épocas de amostragem: a) entre doses dentro de cada fonte (A B C); b) entre fontes (D E F)

TAL na dose intermediária de fósforo para a fonte OM diminui bastante à partir dos 76 dae.

A TAL reflete a eficiência do sistema assimilador envolvido na produção de matéria seca, estimando a fotossíntese líquida (Boaro, 1986). Segundo Watson (1952), a TAL expressa o balanço entre fotossíntese e a respiração e como a batata é uma planta C_3 , deve-se levar em conta, também, as perdas por fotorrespiração.

Na comparação das fontes, observa-se nos gráficos D, E e F da Figura 8 que as maiores diferenças ocorreram nas doses intermediárias de fósforo e na maior dose, na qual os valores da TAL para as fontes ST e TY são semelhantes. O mesmo ocorreu com os valores da TAL para o OM e controle, exceto aos 34 dae, onde o controle apresenta maiores valores da TAL que a fonte OM.

Embora trabalhos de Watson (1952) mostrem que não há evidências da influência de níveis elevados de nutrientes sobre a TAL, ao mesmo tempo sugere diminuição deste parâmetro, quando baixas concentrações de nutrientes são utilizadas.

6.1.8. Taxa de crescimento relativo (TCR)

Na Figura 9 podem ser vistas as curvas da taxa de crescimento relativo (TCR) em função dos dae da cultura da batata, submetidas à diferentes tratamentos.

A taxa de crescimento relativo reflete o aumento da matéria orgânica seca, em gramas, num intervalo de tempo, sendo função do tamanho inicial, ou seja, de material pré-existente (Benincasa, 1988).

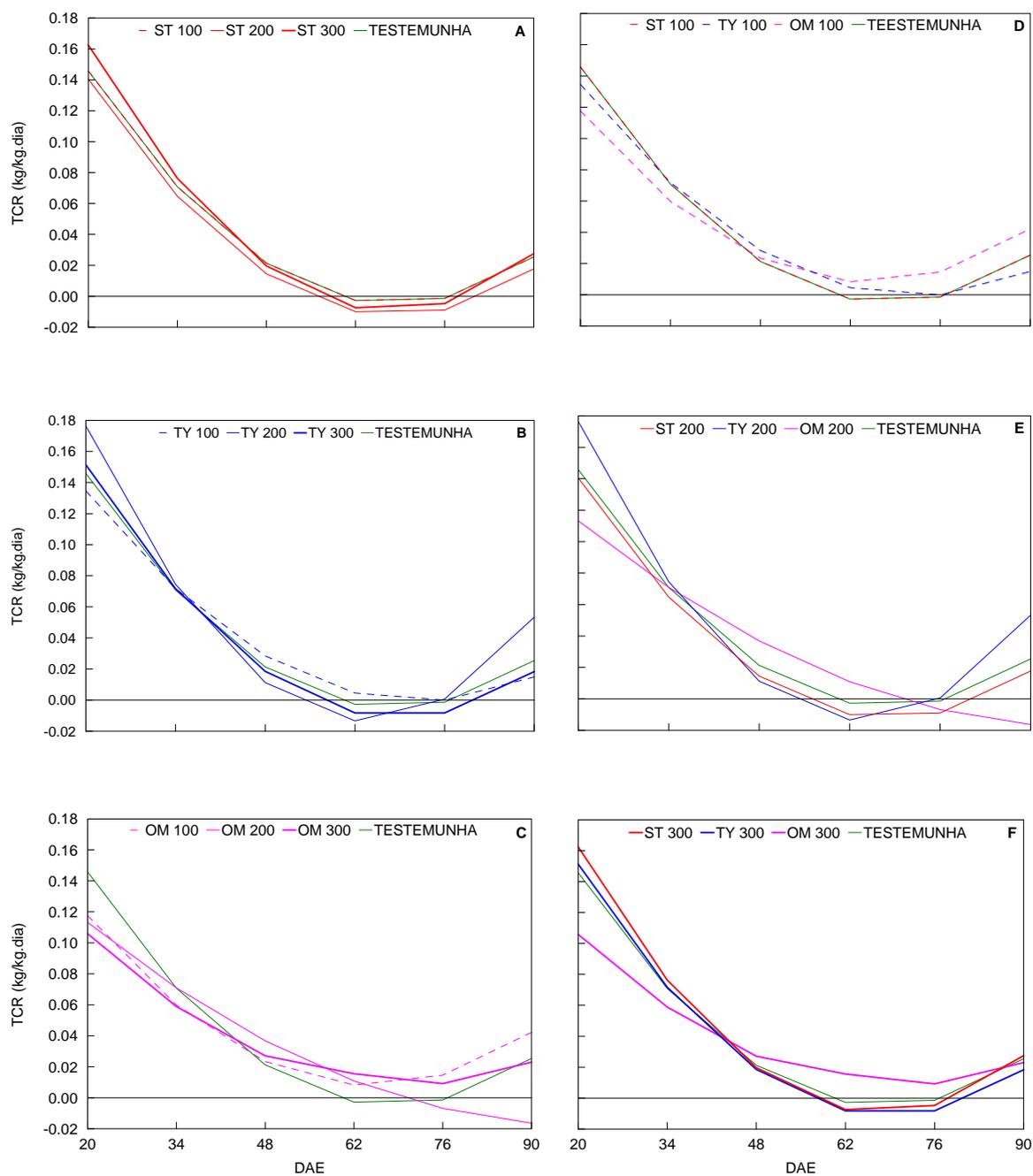


FIGURA 9 - Variações obtidas para a taxa de crescimento relativo (TCR), em relação às épocas de amostragem: a) entre doses dentro de cada fonte (A B C); b) entre fontes (D E F)

Para Briggs et al. (1920b) a TCR é a medida mais apropriada para avaliação do crescimento vegetal, sendo dependente da quantidade de material que está sendo acumulado. Ainda de acordo com Briggs et al. (1920b) e Watson (1952) a TCR é um índice de eficiência, já que representa a capacidade da planta em produzir material novo.

Observa-se nos gráficos A, B e C da Figura 9 que a tendência geral da TCR é a redução com o desenvolvimento do ciclo da cultura da batata. Assim, percebe-se uma fase inicial de rápido acúmulo de material, seguida de uma com menor incremento, com um posterior período de valores próximos a zero para todos os tratamentos. Quase todos os tratamentos apresentam um leve acréscimo no final do período estudado, reforçando a hipótese de um aumento de eficiência no acúmulo de material, justamente quando há translocação de fotoassimilados para os tubérculos.

Este comportamento da TCR é amplamente reportado na literatura, como em Lopes et al. (1982), Rodrigues (1982), Stone et al. (1988), Benincasa (1988), Rodrigues (1990), Urchei (1992), Aguiar Neto (1993), Moreira (1993) e Andrade Júnior (1994).

Observa-se que a fonte OM na dose intermediária de fósforo apresenta no final do período um decréscimo na TCR, ao contrário dos demais.

Quando se considera que os cálculos dos índices fisiológicos foram realizados pelo método funcional, obtém-se valores instantâneos e verifica-se que a TCR se constitui no produto da TAL x RAF (Radford, 1967; Benincasa, 1988), sendo, portanto, mais fortemente influenciada pelo padrão da TAL.

Na comparação das fontes, observa-se nos gráficos D, E e F da Figura 9, principalmente na maior dose, que o comportamento das fontes ST e TY e controle foram semelhantes, exceto a fonte OM que inicialmente apresenta menores valores de TCR e a partir dos 48 dae passa a apresentar maiores valores de TCR em comparação às demais fontes.

6.1.9. Duração de área foliar (DAF)

Os resultados obtidos para a duração de área foliar (DAF) em função dos dae da cultura da batata estão apresentados na Figura 10.

Observa-se nos gráficos A, B e C da Figura 10 que a DAF apresentou tendência de valores mais elevados com o aumento da dose de fósforo aplicado para o ST e TY, enquanto com OM os maiores valores de DAF foram obtidos com a dose intermediária de fósforo. Nota-se também que na maior dose de fósforo para o OM ocorre diminuição nos valores da DAF.

De acordo com Séstak et al. (1971) o termo duração tem ocasionado confusões, porque reflete uma idéia de tempo, conflitando, quase sempre, com o ciclo das espécies vegetais. Porém, a DAF expressa em termos quantitativos quanto tempo a planta mantém sua superfície assimilatória ativa.

Na comparação das fontes, observa-se nos gráficos D, E e F da Figura 10 que as maiores diferenças ocorreram dentro da maior dose, na qual os valores da DAF para as fontes ST e TY são claramente superiores à fonte OM e ao controle.

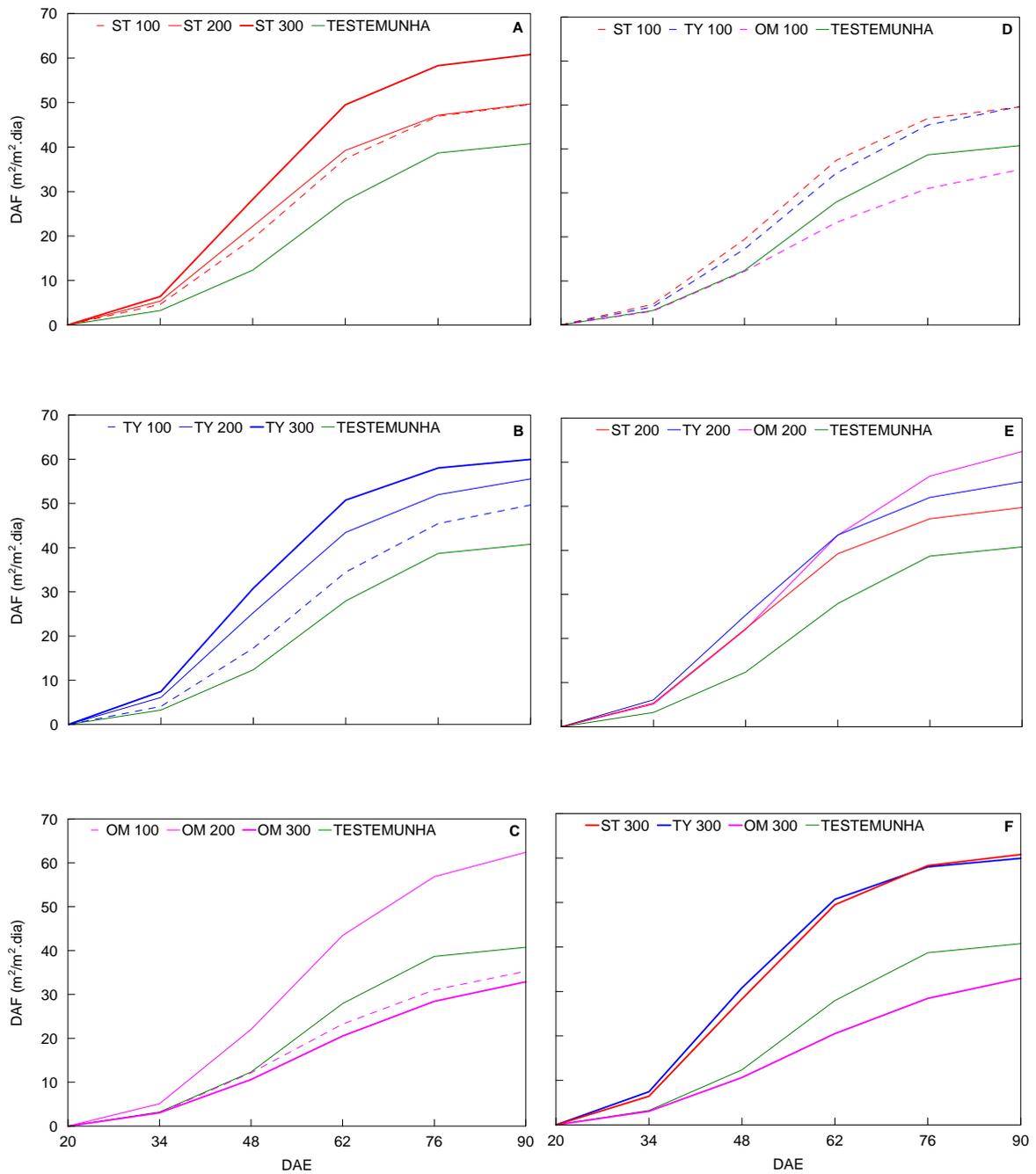


FIGURA 10 - Variações obtidas para a duração de área foliar (DAF), em relação às épocas de amostragem: a) entre doses dentro de cada fonte (A B C); b) entre fontes (D E F)

Nota-se também que os valores da DAF para a fonte OM são nitidamente inferiores ao controle.

6.2. Produção comercial e número total de tubérculos

A análise de regressão da produtividade total comercial (PTC) e número total de tubérculos (NTB) em relação às fontes e doses de fósforo e os valores médios observados para a cultura da batata encontram-se na Figura 11. As equações e os coeficientes de determinação estão contidos no Quadro 9. Os dados de produtividade em função de fontes e doses, ajustaram-se ao modelo quadrático.

Através dos resultados obtidos, verificou-se que as fontes de fósforo nas doses empregadas aumentaram a produtividade da batata. Nota-se que as fontes ST e TY apresentaram um comportamento similar. Verifica-se, ainda, que a fonte OM apresenta maiores valores de produtividade com a dose intermediária de fósforo.

Apesar de ser o potássio o elemento mais extraído quantitativamente pela batata, é o fósforo que entra em maior proporção nas fórmulas de adubação, devido ao seu baixo teor nos solos brasileiros (Boock, 1945; Boock & Castro, 1950). Em experimentos já ficou comprovado que produções de parcelas que não haviam recebido P, mas apenas NK, se assemelhavam às da testemunha. Em três solos com diferentes teores de P, alto, médio e baixo, foi ainda observado que as melhores produções estavam associadas a formas solúveis de P, uma vez que se trata de cultura de ciclo curto (Boock, 1945).

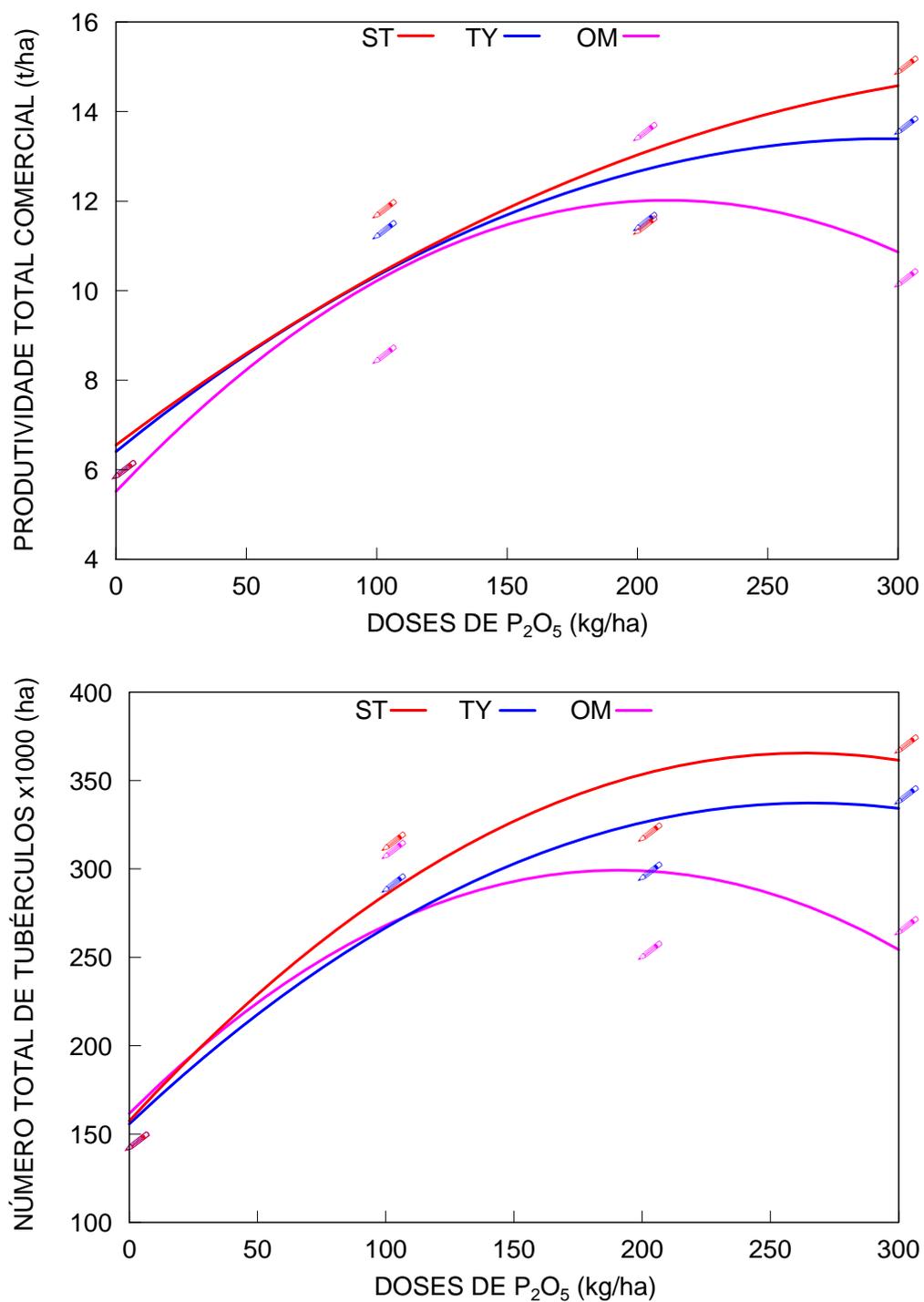


FIGURA 11 - Produtividade total comercial e número total de tubérculos produzidos pela cultura da batata em função de fontes e doses de fósforo.

O efeito do P foi novamente bem evidenciado por Boock & Castro (1950), em solos de diversas localidades do Estado de São Paulo, todos com níveis de médios a baixos de P.

QUADRO 9 - Regressões da produtividade total comercial (PTC) e do número total de tubérculos (NTB) em relação às doses de adubos aplicadas.

Fontes	Modelo	r ²
PTC		
ST	$y=6,554 + (0,04369).X+(-0,0000565).(X^2)$	0,88
TY	$y=6,4065+(0,047215).X+(-7,975E-05).(X^2)$	0,92
OM	$y=5,517001+(6,161998E-02).X+(-1,459999E-04).(X^2)$	0,81
NTB		
ST	$y=157,5+(1,58).X+(-0,003).(X^2)$	0,92
TY	$y=155,75+(1,3675).X+(-0,002575).(X^2)$	0,93
OM	$y=161,65+(1,4415).X+(-0,003775).(X^2)$	0,71

Com relação à adubação fosfatada na cultura da batata, as maiores produtividades foram obtidas com aplicações de 80 a 180 kg/ha de P₂O₅ com inceptisols, alfisols e ultisols (Boock & Castro, 1950; Boock & Freire, 1960; Gomes & Freire, 1962; Villagarcía et al., 1978) e de 80 a 450 kg/ha de P₂O₅ em Oxisols e Andosols (Galvão, 1973; Muñoz & Wieczoreck, 1978; Pino, 1982). Esta grande amplitude de recomendação deve-se às formas dominantes de P no solo e no efeito

residual de adubações fosfatadas anteriores, que também afetam a disponibilidade de P (Appelt & Schalscha, 1970; Friewd & Birch, 1960; Omatoso, 1971).

Maciel (1983) estudando diferentes fontes de fósforo para a cultura da batata em duas doses (50 e 100 kg/ha de P_2O_5) obteve a maior produção para a dose de 100 kg/ha. Nessa dose, o termofosfato Yoorin produziu 44.250 kg/ha, o superfosfato simples 33.833 kg/ha e o fosfato natural, 16.042 kg/ha.

Em trabalhos com doses maiores de fósforo na cultura da batata, Moraes et al. (1984) verificaram que o fósforo aumentou significativamente a produção comercializável. A produção máxima de 15.264 kg/ha foi alcançada com a aplicação de 234 kg/ha de P_2O_5 .

Com relação ao superfosfato triplo Ortiz et al. (1988) verificaram que a adubação com fósforo aumentou a produtividade (de 19,9 a 37,7 t/ha) e a extração de P (de 8 a 17,8 kg/ha de P) pelos tubérculos; a extração de P pela planta acompanhou a acumulação de matéria seca. A produtividade máxima foi obtida com 183 kg/ha de P_2O_5 no plantio. Resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho foram obtidos por Portela & Lima (1992), estudando doses crescentes de fósforo e potássio sobre a produção da batata, e observaram que a produção máxima foi alcançada com 277 kg/ha de P_2O_5 .

Nota-se que o aumento das doses de fósforo aplicado eleva a produtividade total comercial, porém essas doses apresentam variações, conforme observado. As respostas ao fósforo são muito variáveis dependendo do teor no solo, tipo de solo, condições climáticas e cultivares.

No presente trabalho, observa-se que o número total de tubérculos (NTB) ajustou-se bem ao modelo quadrático. Verifica-se que diferenças entre os tratamentos inicia-se já na menor dose de fertilizantes, acentuando-se com o passar do tempo. Tanto a fonte ST como a TY aumentaram o número total de tubérculos com a dose de fósforo. Por outro lado, a fonte OM aumentou o número total de tubérculos até a dose de 200 kg/ha de P_2O_5 , diminuindo com a elevação da dose para 300 kg/ha de P_2O_5 . Os resultados obtidos nas análises de crescimento são compatíveis com estas variações observadas; estas constatações sugerem estar relacionadas à relação C/N, na dose de 300 kg/ha de P_2O_5 para a fonte OM.

Em experimentos com a cultura da batata Fontes et al. (1987) verificaram aumento de produção com o aumento da quantidade aplicada de fósforo. A ausência de adubação e o excesso de fertilizante fosfatado causaram redução no número de tubérculos por planta.

Com relação ao número total de tubérculos Fontes & Fontes (1991) verificaram para a cultura da batata em condições de campo, que o aumento do nível de fósforo aplicado no solo, aumentou o número de tubérculos, a produção de tubérculos comerciais e a concentração de fósforo nas folhas.

6.3. Diagnose foliar

6.3.1. Macronutrientes

Os dados de concentração de macronutrientes na matéria seca dos

pecíolos estão contidos na Figura 12. As equações e os coeficientes de determinação podem ser vistos no Quadro 10. Com relação à concentração de fósforo no tecido vegetal (Figura 12A) observa-se que diferenças expressivas ocorreram apenas entre

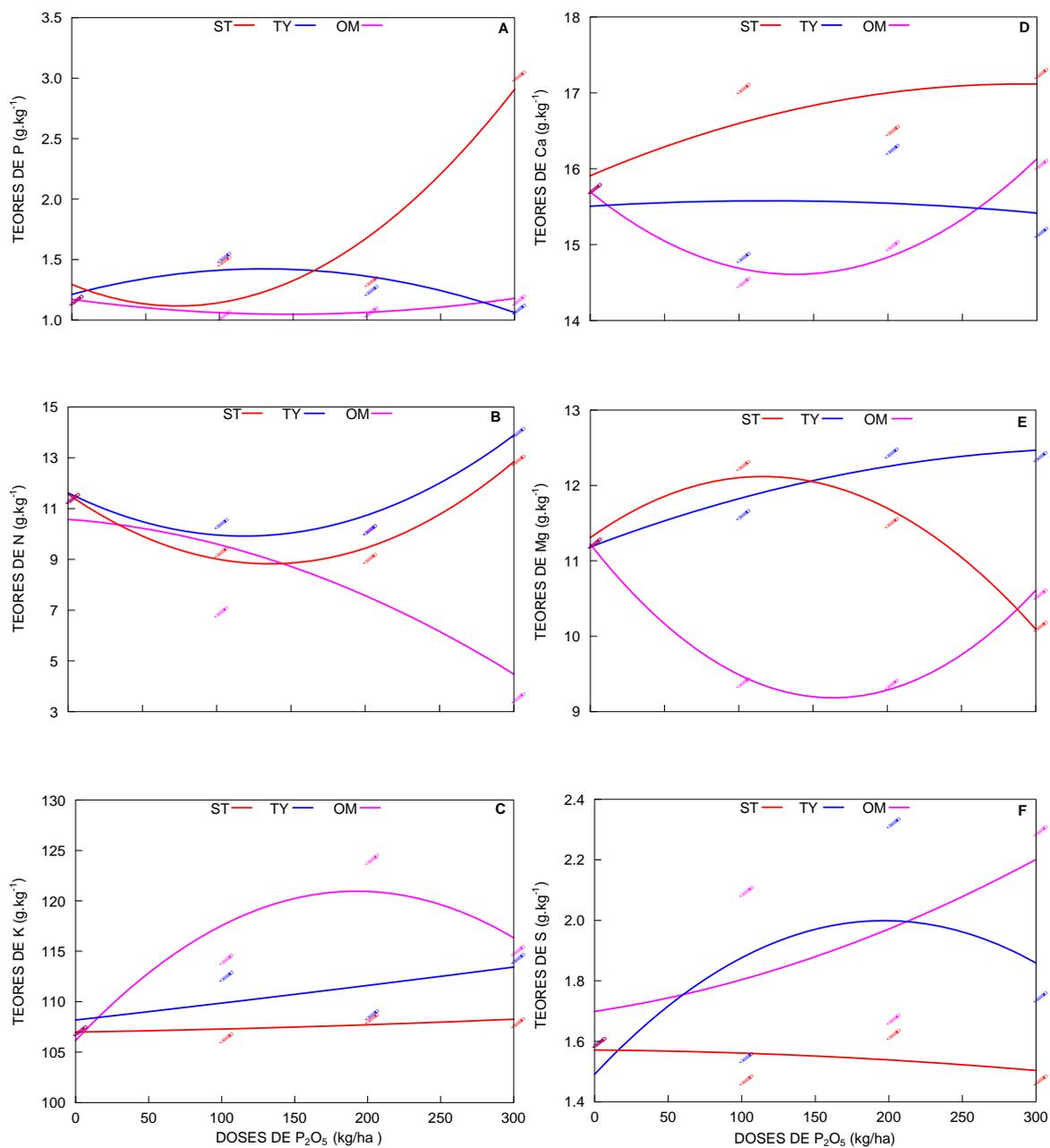


FIGURA 12 - Concentração de macronutrientes na matéria seca de pecíolos de plantas de batata em função de fontes e doses de fósforo.

a dose 300 kg/ha do ST com os demais tratamentos. Nos solos que receberam a adubação com as fontes TY e OM observa-se que não houve elevação dos teores de fósforo na matéria seca dos pecíolos com o aumento das doses de fósforo aplicadas.

Verifica-se que o fertilizante organo-mineral não foi eficiente para aumentar a concentração de fósforo na parte aérea da batata, resultado semelhante aos obtidos por Corrêa et al. (1997) para a cultura do milho. No entanto, pesquisas envolvendo as fontes organo-minerais quanto à resposta das culturas e alterações em propriedades químicas do solo ainda carecem de resultados.

QUADRO 10 - Regressões dos teores de macronutrientes em função das doses de adubos aplicadas.

Nutriente	Fonte	Modelo	r ²
P	ST	$y=0,129375+(-0,0004937504).X+(0,000003437501).(X^2)$	0,87
	TY	$y=0,12125+(0,000325).X+(-0,00000125).(X^2)$	0,73
	OM	$y=0,117125+(-0,00016625).X+(0,0000005625).(X^2)$	0,98
N	ST	$y=1,15625+(-0,0040375).X+(0,000014875).(X^2)$	0,97
	TY	$y=1,161375+(-0,002861254).X+(0,00001206251).(X^2)$	0,94
	OM	$y=1,057375+(-0,0004387478).X+(-0,000005312505).(X^2)$	0,59
K	ST	$y=10,69875+(0,0002375259).X+(0,0000006249463).(X^2)$	0,40
	TY	$y=10,81875+(0,0016375).X+(0,000000375).(X^2)$	0,47
	OM	$y=10,61613+(0,01537372).X+(-0,00003993744).(X^2)$	0,84
Ca	ST	$y=1,590875+(0,0008337497).X+(-0,000001437499).(X^2)$	0,64
	TY	$y=1,55075+(0,00012).X+(-0,0000005).(X^2)$	0,01
	OM	$y=1,5695+(-0,001580003).X+(0,000005750007).(X^2)$	0,96
S	ST	$y=0,157125+(-0,000003750001).X+(-0,0000000625).(X^2)$	0,14
	TY	$y=0,1491251+(-0,0005162481).X+(-0,000001312494).(X^2)$	0,38
	OM	$y=0,169875+(-0,00007374967).X+(0,0000003125006).(X^2)$	0,42
Mg	ST	$y=1,13075+(0,001395).X+(-0,000006).(X^2)$	0,97
	TY	$y=1,118375+(0,00074625).X+(-0,0000010625).(X^2)$	0,92
	OM	$y=1,122+(-0,0024925).X+(0,000007624999).(X^2)$	0,99

Braga et al. (1991), trabalhando com nove fosfatos, relatam que os teores de fósforo nas folhas de soja praticamente não mostraram efeitos significativos das fontes de fósforo. Em valores numéricos, apenas os tratamentos relativos às fontes mais solúveis (superfosfato triplo, gafsa e termofosfato magnésiano fundido), na dose de 400 kg/ha de P_2O_5 , aproximaram-se da faixa de suficiência proposta por Mascarenhas (1972) e De Mooy et al. (1973), sugerindo que o suprimento ótimo de P não foi atingido pelas doses mais elevadas de fósforo.

Entretanto, Fontes & Fontes (1991) verificaram, para a cultura da batata, que o aumento do nível de fósforo aplicado no solo aumentou a concentração de fósforo nas folhas, de forma linear.

A ocorrência destes resultados tão divergentes pode estar associada à amostragem do material para a diagnose foliar. Com relação à amostragem, Malavolta et al. (1989) recomendam o pecíolo, enquanto Bataglia et al. (1983) recomendam as folhas. Provavelmente o pecíolo não refletiu adequadamente o estado nutricional das plantas para o fósforo.

Observa-se pela Figura 12B que os teores de N para as fontes ST e TY aumentaram com a maior dose de fósforo aplicada, à exceção da fonte OM, que diminuíram com o aumento da dose de P_2O_5 . Büll et al. (1998), trabalhando com o ST na cultura do alho vernalizado, obtiveram resultados semelhantes.

Observa-se que a fonte OM não proporcionou aumento nos teores de N com o aumento de doses de fósforo aplicada. Assim, os baixos teores de N encontrados podem estar relacionados ao decréscimo da produção com a maior dose de fósforo aplicada. Tais resultados são justificáveis, sendo o nitrogênio o

segundo elemento em termos de resposta à produção para a batata e entre os sintomas de deficiência há diminuição da área foliar e do crescimento, com menores produções e tubérculos menores.

Verifica-se pela Figura 12C que os teores de K para a fonte OM aumentaram até a dose de 200 kg/ha de P_2O_5 , diminuindo com o aumento da dose para 300 kg/ha de P_2O_5 . Estes resultados confirmam os obtidos por Corrêa et al. (1997) na cultura do milho.

Não se obteve ajuste satisfatório para as fontes ST e TY quanto aos teores de K, portanto a absorção de potássio foi favorecida pela elevação nas doses de fósforo apenas para a fonte OM. Verifica-se que a elevação na absorção de potássio foi acompanhada por uma redução na absorção de magnésio (Figura 12E), caracterizando o efeito antagônico entre os nutrientes.

Mengel & Kirkby (1982) descrevem o efeito benéfico do potássio no desenvolvimento de tubérculos através da capacidade de carga e transporte do floema e, conseqüentemente, no maior preenchimento do “reservatório” fisiológico com os assimilados. Estes autores mostraram que o número de tubérculos de batata/planta foi maior em tratamento com teores baixos de K; porém, o tamanho de tais tubérculos foi pequeno.

Quanto aos valores de Ca e Mg (Figuras 13 D e 13 E), verificou-se que entre as fontes de fósforo, o termofosfato mostrou os melhores efeitos. Isto se deve à sua composição mais rica em Ca e Mg (Quadro 2). Por outro lado, chama a atenção o fato de o termofosfato não elevar significativamente os teores de Ca na planta. Coutinho et al. (1991), com o objetivo de avaliar a eficiência de diferentes fontes de

fósforo para a cultura do milho observaram que o termofosfato não elevou significativamente os teores de magnésio no solo e na planta.

Os teores de Ca para o superfosfato triplo aumentaram com a dose de fósforo. Não se obteve ajuste satisfatório para os teores de Ca com a fonte TY. Também não se obteve ajuste satisfatório para os teores de S para as diferentes fontes.

6.3.2. Micronutrientes

A Figura 13 mostra os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn, no tecido vegetal, em função das doses de P_2O_5 (kg/ha) aplicadas. As equações e os coeficientes de determinação podem ser vistos no Quadro 11.

Nota-se que todos os micronutrientes analisados apresentaram comportamento de curvas diferentes, mas, de forma geral, verifica-se que ocorre aumento nos teores de Fe, Cu e Mn com o aumento das doses de fósforo. Os teores de Zn diminuíram à medida que as doses de fósforo aumentaram e nota-se que na maior dose de fósforo os teores de Zn apresentaram um leve aumento.

Uma explicação sobre essas observações é que ocorre uma interação P x Zn na raiz e/ou nos vasos condutores, reduzindo a translocação de zinco para a parte aérea da planta, ou ainda uma desordem metabólica causada pelo desbalanceamento entre os dois nutrientes (Stukenholtz et al., 1966; Boawn & Brown, 1968; Edwards & Kamprath, 1974). Entretanto, segundo Sumner & Farina (1986), é difícil prever a ocorrência desse fenômeno, já que variações nos

parâmetros

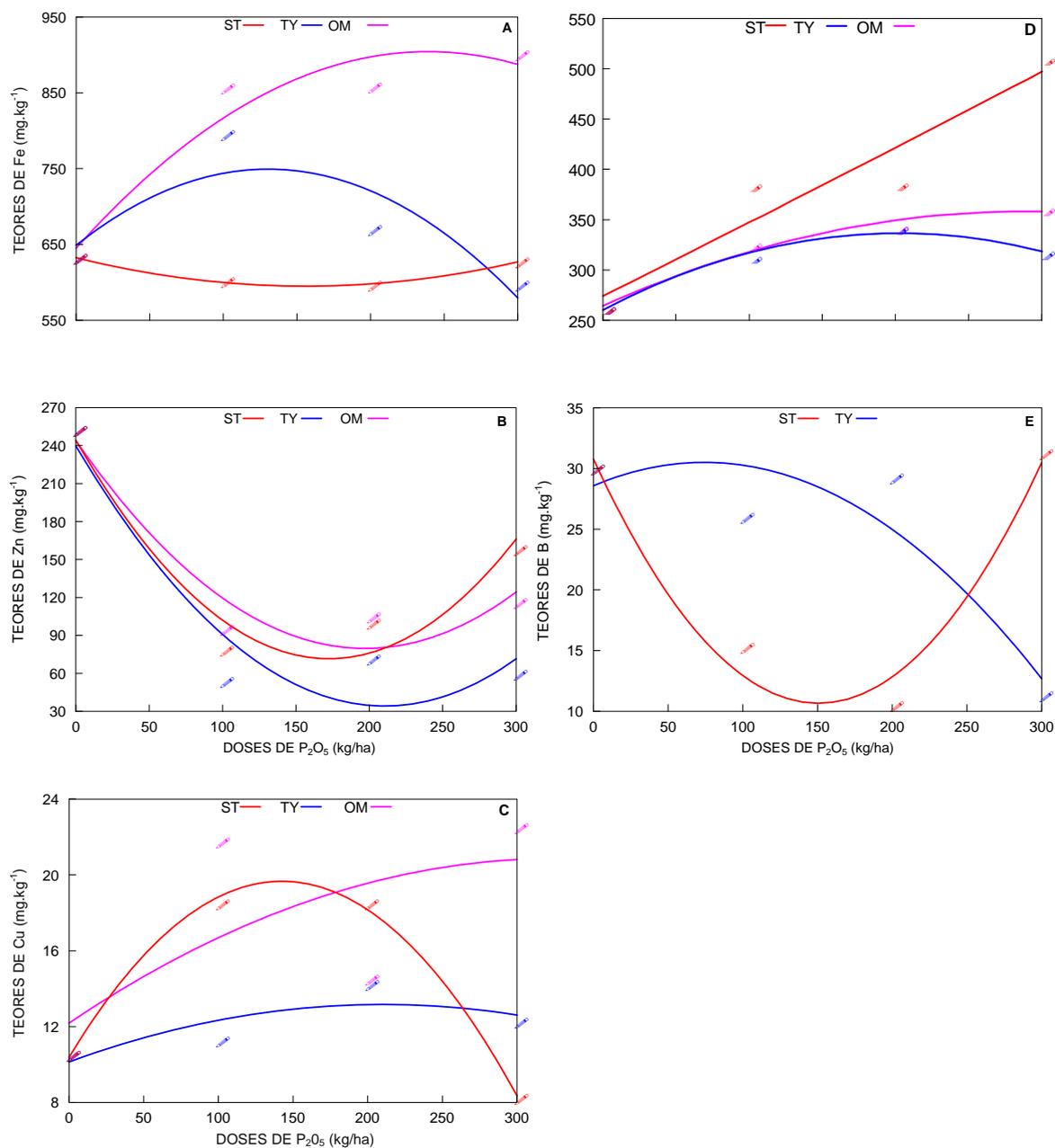


FIGURA 13 -Concentração de micronutrientes na matéria seca de pecíolos de plantas de batata em função de fontes e doses de fósforo.

climáticos, como intensidade luminosa, precipitação e temperatura, influenciam sobremaneira os resultados obtidos.

QUADRO 11 - Regressões dos teores de micronutrientes em função das doses de adubos aplicados.

Nutriente	Fonte	Modelo	r ²
Fe	ST	$y=632,4876+(-0,4813765).X+(0,001543755).(X^2)$	0,99
	TY	$y=648,9373+(1,54063).X+(-0,005906266).(X^2)$	0,74
	OM	$y=645,2501+(2,168747).X+(-0,00453749).(X^2)$	0,92
Zn	ST	$y=244,1625+(-2,002125).X+(0,00580625).(X^2)$	0,93
	TY	$y=239,7375+(-1,953875).X+(0,00464375).(X^2)$	0,89
	OM	$y=243,7375+(-1,663875).X+(0,00421875).(X^2)$	0,92
Cu	ST	$y=10,3875+(0,130125).X+(-0,00045625).(X^2)$	0,99
	TY	$y=10,1375+(0,028875).X+(-0,00006875).(X^2)$	0,67
	OM	$y=12,1875+(0,05312498).X+(-0,00008124992).(X^2)$	0,44
Mn	ST	$y=274,1876+(0,7268735).X+(0,000056255).(X^2)$	0,90
	TY	$y=260,475+(0,756).X+(-0,001875).(X^2)$	0,99
	OM	$y=264,4125+(0,6516265).X+(-0,001131255).(X^2)$	0,98
B	ST	$y=30,775+(-0,26725).X+(0,0008875).(X^2)$	0,96
	TY	$y=28,575+(0,052).X+(-0,00035).(X^2)$	0,82

De acordo com Souza & Ferreira (1991), a redução na disponibilidade de zinco em solos adubados com fosfato está associada ao aumento na adsorção deste micronutriente, como consequência da geração de cargas negativas, ligando-se às superfícies dos sesquióxidos através das moléculas de fosfatos adsorvidos. Entretanto, a manifestação desse fenômeno é dependente das concentrações de zinco no solo. Barrow (1987) observou que esse efeito foi pequeno à baixos níveis de

zinco, sendo significativo em doses mais elevadas, sugerindo que a interação somente ocorreu quando o nível de aplicação de zinco foi alto.

Não se obteve ajuste satisfatório para os teores de Cu em relação às doses de fósforo para a fonte OM.

Dos micronutrientes, o boro é o principal elemento descrito pela literatura para a cultura da batata. Este elemento está presente onde existem células se multiplicando, no desenvolvimento de raízes, na movimentação da seiva e na absorção de cátions (Gomes, 1978). De acordo com Gargantini et al. (1970), o boro incrementa a produtividade e promove, benéficamente, a melhoria do tipo comercial dos tubérculos.

Verifica-se pela Figura 13E, que as curvas relativas às fontes ST e TY apresentaram comportamento inverso uma da outra, sendo que a fonte ST para a maior dose de fósforo aplicada apresentou teor de boro semelhante ao tratamento controle e para a fonte TY os teores de boro diminuíram.

Não se obteve ajuste para os teores de boro em relação às doses de fósforo para a fonte OM, pois os resultados da diagnose foliar para esta fonte revelaram traços de boro.

6.4. Eficiência Agronômica

No Quadro 12 estão contidos os valores dos índices de eficiência agronômica (IEA) dos fosfatos testados. Observa-se que a fonte TY apresentou

valores de IEA equivalentes a fonte ST até a dose intermediária de fósforo, sendo que na maior dose este índice diminui.

QUADRO 12 - Índices de eficiência agronômica (IEA) dos fosfatos testados, em função das doses de fósforo.

FONTES	Doses de P ₂ O ₅ (kg/ha)		
	100	200	300
ST	100	100	100
TY	91,9	101,3	85,3
OM	44,2	129,7	47,4

Verifica-se também que a fonte OM apresentou valores de IEA muito inferiores às demais fontes, à exceção da dose intermediária de fósforo que apresentou valores de IEA superior àqueles obtidos pelas fontes ST e TY.

7. CONCLUSÕES

- A aplicação de fósforo promoveu elevação em todos os índices de análise de crescimento.
- As fontes superfosfato triplo e termofosfato Yoorin Master, na dose de 300 kg/ha de P_2O_5 , propiciaram aumentos no crescimento e produtividade da cultura da batata, especialmente por elevar a superfície fotossintética. A fonte organo-mineral mostrou-se mais eficiente na dose de 200 kg/ha de P_2O_5 .
- O teor de fósforo na matéria seca dos pecíolos se relacionou apenas com o aumento nas doses de fósforo aplicado ao solo para o superfosfato triplo.
- Os índices de eficiência agrônômica (IEA) proporcionados pelo superfosfato triplo e termofosfato Yoorin Master equivaleram-se até a dose de 200 kg/ha de P_2O_5 e foram superiores àqueles obtidos com a fonte organo-mineral, à exceção da dose de 200 kg/ha de P_2O_5 . Nesta dose a fonte organo-mineral foi superior às demais.

8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS ¹

AGUIAR NETTO, A.O. *Comportamento fisiológico e produtivo da ervilha (Pisum sativum L.), submetida a diferentes potenciais de água no solo*. Botucatu, 1993. 149p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

AGUIAR NETTO, A.O. *Crescimento e produtividade da cultura da batata (Solanum tuberosum ssp tuberosum), cultivar aracy, submetida a diferentes lâminas de irrigação*. Botucatu, 1997. 88p. Tese (Doutorado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

ALCARDE, J.C., PONCHIO, C.O. Caracterização das solubilidades das rochas fosfatadas brasileiras e termofosfatos em diferentes extratores químicos. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.4, p.196-200, 1980.

¹ UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Faculdade de Ciências Agrônômicas. Normas para a elaboração de dissertação e teses. Botucatu, 1997. 35p.

ANDO, J. *Studies in fused calcium magnesium phosphate fertilizer*. Tokyo: Faculty of Engineering, 1958. 30p.

ANDRADE JÚNIOR, A.S. *Manejo da irrigação na cultura da alface (Lactuca sativa L.) através do tanque Classe A*. Botucatu; 1994. 104p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

APPELT, H., SCHALSCHA, E. Effect of added phosphate on the inorganic phosphorus fractions of soils derived from volcanic ash. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, v.34, p.599-602, 1970.

ASCÊNCIO, J., FARGAS, J.E. Analisis del crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. "Turrialba-4") cultivado en solución nutritiva. *Turrialba*, v.23, p.420-8, 1973.

BANGAR, K.C., YADAV, K.S., MISHRA, M.M. Transformation of rock phosphate during composting and the effect of humic acid. *Plant Soil*, v.85, p.259-66, 1985.

BANZATO, D.A., KRONKA, S.N. Experimentação agrícola. Jaboticabal: FUNEP, 1989. 247p.

BARROW, N.J. Testing a mechanistic model. VI Molecular modeling of the effects of pH on phosphate and on zinc retention by soils. *J. Soil Sci.*, v.37, p.311-8, 1987.

- BATAGLIA, O.C., FURLANI, A.M.C., TEIXEIRA, J.F.P., FURLANI, P.R., GALLO, J.R. Métodos de análises químicas das plantas. *Bol. Téc. Inst. Agron. Campinas*, n.78, p.1-48, 1983.
- BENINCASA, M.M.P. *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. Jaboticabal: Legis Summa, 1988. 42p.
- BERTON, R.S., CAMARGO, O.A., VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.13, p.187-92, 1989.
- BETTIOL, W., CARVALHO, P.C.T. Lodo de esgoto como fertilizante para a cultura do milho (*Zea mays* L.) híbrido HMD-7974. *Fertilizantes*, v.4, n.3, p.9-11, 1982a.
- BETTIOL, W., CARVALHO, P.C.T. Utilização do lodo de esgoto primário e fertilizante organomineral IPT na cultura do milho. *Fertilizantes*, v.4, n.1, p.14-5, 1982b.
- BOARO, C.S.F. *Influência da variação dos níveis de magnésio sobre o desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca), em cultivo hidropônico*. Botucatu, 1986. 163p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

BOAWN, L.C., BROWN, J.C. Further evidences for a P x Zn imbalance in plants. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, v.32, p.94-97, 1968.

BOOCK, O.J., Adubos fosfatados na cultura da batata. *Bragantia*, v.5, p.328-49, 1945.

BOOCK, O.J., CASTRO, J.B. Efeito do nitrogênio, fósforo e potássio na adubação da batatinha, *Solanum tuberosum*. *Bragantia*, v.10, n.8, p.221-33, 1950.

BOOCK, O.J., FREIRE, E.S. Adubação da batatinha: experiências com doses crescentes de fósforo. *Bragantia*, v.19, n.25, p.369-91, 1960.

BORKERT, C.M., CORDEIRO, D.S., SFREDO, G.J., PALHANO, J.B., DITRICH, R.C. Efeito de diversas doses de fósforo de diferentes fosfatos naturais na produção de soja, em condições de primeiro cultivo. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1, Londrina, 1978. *Anais ... Londrina: CNPSo/EMBRAPA*, 1979. p.291-8.

BRAGA, N.R., MASCARENHAS, H.A.A., BULISANI, E.A., RAIJ, B. van, FEITOSA, C.T., HIROCE, R. Eficiência agronômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.15, p.315-9, 1991.

BRASIL. *Portaria do Ministério da Agricultura*. n.307. Diário Oficial, Brasília, 1977.

- BRAUN, W.A.G. Relação solo-planta e termofosfatos. *Fertilizantes*, v.2, p.3-8, 1980.
- BRIGGS, G.E., KIDD, F., WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. Part.I. *Ann. Appl. Biol.*, v.7, n.1, p.102-23, 1920a.
- BRIGGS, G.E., KIDD, F., WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. Part II. *Ann. Appl. Biol.*, v.7, n.2/3, p.202-23, 1920b.
- BÜLL, L.T., FORLI, F., TECCHIO, M.A., CORRÊA, J.C. Relação entre fósforo extraído por resina e respostas da cultura do alho vernalizado a adubação fosfatada em cinco solos com e sem adubação orgânica. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, 1998 (no prelo).
- BUTTERY, B.R. Analysis of growth of soybean as affected by plant population and fertilizer. *Can. J. Plant Sci.*, v.49, p.675-84, 1969.
- CABALA, R.P., FASSBENDER, H.W. Formas del fósforo en suelos de la región cacaotera de Bahia, Brasil. *Turrialba*, v.20, n.4, p.439-44, 1970.
- CACERES, N.T., NAKAYAMA, L.H.I., SILVA, V.M., GUILHERME, M.A. de S., BORGES, M.H., SILVA, F., PFEIFER, R., MARCONDES, R., FALCÃO, N., ALCARDE, J.C., MALAVOLTA, E. Eficiência relativa de fontes de fósforo de diferentes solubilidades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO

- SOLO, 24, 1993, Goiânia. *Resumos ...* Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. p.217-8.
- CAMARGO, O.A., RAIJ, B., GROHMANN, F. Influência de cátions trocáveis e pH na fixação do fósforo em solos. *Ciênc. e Cult.* (São Paulo), v.28, p.678-81, 1976.
- CHANG, S.C., JACKSON, M.L. Soil phosphorus fractions in some representative soils. *J. Soil Sci.*, v.9, p.109-19, 1958.
- CHIEN, S.H. Reactions of phosphate rocks, rhenania phosphate and superphosphate with and acid soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.42, p.705-8, 1978.
- COLLIER, L.S., SANTOS, G.A., PESSANHA, G.G., PEREIRA, A.L.. Efeito do composto de lixo urbano, fontes de Ca e Mg e adubação mineral sobre planossolo cultivado com berinjela e milho doce em sucessão. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, Piracicaba. *Anais ...* Piracicaba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.402-3.
- CORRÊA, J.C., TECCHIO, M.A., BÜLL, L.T. Eficiência agronômica de fertilizante fosfatado organo-mineral obtido através de compostagem com lixo urbano. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9, 1997, Jaboticabal. *Anais ...* São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 1997. p.270.

COUTINHO, E.L.M., NATALE, W., VILLA NOVA, A.S., SITTA, D.S.X. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados para a cultura da soja. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.26, p.1393-9, 1991.

De MOOY, C.J., PESEK, J., SPALDON, E. Mineral nutrition. In: *Soybeans: improvement, production and uses*. Madison: American Society Agronomy, 1973. p.332-34.

EDWARDS, J.H., KAMPRATH, E.J. Zinc accumulation by corn seedlings as influenced by phosphorus, temperatura and light intensity. *Agron. J.*, v.66, p.479-82, 1974.

ESPINDOLA, C.R., TOSIN, W.A.C., PACCOLA, A.A. Levantamento pedológico da Fazenda Experimental São Manuel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 14, 1973, Santa Maria. *Anais ...* Santa Maria: Editora, 1973. p.650-1.

FEITOSA, C.T., RAIJ, B., DECHEN, A.R., ALCARDE, J.C. Determinação preliminar da eficiência relativa dos fosfato, para trigo, em casa de vegetação. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.2, p.193-5, 1978.

FILGUEIRA, F.A.R. Práticas agronômicas. In: REIFSCHNEIDER, F.J.B. (Coord.). *Produção de batata*. Brasília: Linha Gráfica, 1987. p.29-39.

FONTES, P.C.R., FONTES, R.R. Efeito da aplicação de fósforo no solo e nas folhas sobre a produtividade da batata. *Ceres*, v.38, n.216, p.159-69, 1991.

FONTES, P.C.R., PAULA, M.B., MIZUBUTTI, A. Produtividade de batata sob a influência de níveis de fertilizante 4-14-8 e do superfosfato simples. *Ceres*, v.34, n.191, p.90-8, 1987.

FRANCO, B.J.D.C. *Estudos preliminares de níveis de NPK na cultura da batata (Solanum tuberosum L.) nas regiões dos Estados de São Paulo e Paraná*. São Paulo: CAC, 1987. 28p.

FRIEWD, M.T., BIRCH, H.F. Phosphate responses in relation to soil test and organic phosphorus. *J. Agric. Sci.*, v.54, p.341-7, 1960.

GALRÃO, E.Z. Adubação da batatinha em solos de cerrado. *Cerrado*, v.5, n.20, p.9, 1973.

GARGANTINI, H., LEITE, N., HUNGRIA, L.S., VENTURINI, W.R. Efeito de micronutrientes na produção e no tipo de tubérculos de batata, em cultura efetuada em solos de várzea do vale do Paraíba. *Bragantia*, v.29, n.1, p.1-10, 1970.

GOEDERT, W.J., LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solos de cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.8, p.97-102, 1984.

GOEDERT, W.J., LOBATO, E. Eficiência agrônômica de fosfatos em solos de cerrado. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.18, p.499-506, 1983.

GOEDERT, W.J., REIN, T.A., SOUZA, D.M.G. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solos de cerrado. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.25, p.521-30, 1990.

GOEDERT, W.J., SOUZA, D.M.G. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 3, Brasília, 1986. *Anais ...* São Paulo: IBRAFOS, 1986. p.415-29.

GOEDERT, W.J., SOUZA, D.M.G., LOBATO, E. In: _____. *Solos de cerrado: tecnologia e estratégias de manejo*. São Paulo: Nobel, 1987. p.129-66.

GOMES, A.G., FREIRE, E.S. Adubação da batatinha no Vale do Paraíba: experiências com doses crescentes de N, P e K. *Bragantia*, v.21, p.123-41, 1962.

GOMES, R.P. *Adubos e adubação*. 7. ed. São Paulo: Nobel, 1978. 187p.

GOTARDO JÚNIOR., J.R., SANTOS, C.C., SOUZA, P.S., SAIA, V.P., SEKI, L.T. Efeito de doses de lodo de esgoto, complementados ou não com fertilização mineral nas propriedades químicas de um latossolo e nas características nutricionais da cultura do milho (*Zea mays* L.), cv-IAC-100B. In: CONGRESSO

DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8, Guaratinguetá, SP. *Anais ...* São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 1996. p.299.

GUIMARÃES, T.G., MELO, V. F., GOMES, P.C., ALVARES, V.H. Eficiência de um fosfato parcialmente acidulado na produção de milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia. *Resumos*. Goiânia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. p.215-6.

HERNANDO, S., DIAZ-GURGO, M.A., POLO, A. Efecto de diversos resíduos urbanos sobre el rendimiento y contenido mineral de plantas de ray-grass y lechuga. *An. Edafol. Agrobiol*, v.48, p.357-64, 1989.

HINGSTON, F.J., ATKINSON, R.J., POSNER, A.M., QUIRK, J.P. Specific adsorption of the anions on goethite. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 9, 1968. Baltimore, *Proceedings*, v.1, p.669-78, 1968.

HINGSTON, F.J., POSNER, A.M., QUIRK, J.P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. The role of the proton in determining adsorption envelopes. *J. Soil Sci.*, v.23, n.2, p.177-92, 1972.

HUNT, R. *Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis*. London: Edgard Arnold, 1982. 248p.

JABUONSKI, R. E., FURUMOTO, O. Características das Cultivares. In: REIFSCHNEIDER, F. J. B. *Produção de Batata*. Brasília: Linha Gráfica Editora, 1987. p.6-11.

KAMINSKI, I. *Efeitos de cinco fosfatos pré, pró e pós-aplicados ao calcário, no suprimento do fósforo ao sorgo (Sorghum bicolor (L.) cv. Contibrasil) em três solos ácidos*. Piracicaba, 1983. 126p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

KLEINKOPF, G.E. Potato. In: TEARE, E.D., PEET, M.M. *Crop water relations*. New York: John Wiley, 1982. p.287-305.

KORNDÖRFER, G.H. *Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para plantas de trigo*. Porto Alegre, 1978. 61p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KUMURA, A., NANIWA, I. Studies on dry matter production of soybean plants. I. Ontogenic changes in photosynthesis and respiratory capacity of soybean plant and its parts. *Proc. Crop. Sci. Soc. Jpn.*, v.33, p.469-72, 1965.

LANARV Laboratório Nacional de Referência Vegetal. *Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais*. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária / Ministério de Agricultura, 1988. 104p.

LARSEN, S. Soil phosphorus. *Adv. Agron.*, v.19, p.151-209, 1967.

LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região Centro-Oeste. In: OLIVEIRA, A., LOURENÇO, GOEDERT, W.J. (Ed.). *Adubação fosfatada no Brasil*. Brasília: EMBRAPA, 1982. p.201-39.

LOPES, N.L., OLIVA, M.A., FREITAS, J.G., MELGES, E., BELTRÃO, N.E.M. Análise de crescimento e conversão de energia solar em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a três níveis de densidade do fluxo radiante. *Ceres*, v.29, p.586-606, 1982.

MACIEL, C.A.C. *Efeito de diferentes fontes de fósforo na produção de batata*. Escola Superior de Agricultura e Ciências, 1983. 7p. (Relatório de Pesquisa).

MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola, adubos e adubação fosfatada*. 3.ed. São Paulo: Ceres, 1981. 596p.

MALAVOLTA, E. *Adubos e adubação fosfatada*. Piracicaba: Fertilizantes Mitsui, 1985. 61p.

MALAVOLTA, E., ROMER, J.P. *Manual de adubação*. 2.ed. São Paulo: ANDA, 1975. p.95-100.

MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas*. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa do Potássio e do Fósforo, 1989. 201p.

MARQUES, M.O., CESAR, M.A.A., SILVA, F.C., CAMARGO, A.P., MARQUES, T.A., BETTIOL, W. Aproveitamento do lodo de esgoto como adubo em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, Goiânia. *Resumos ...* Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. v.3, p.251-2.

MARRETO, G.H., SHISHIDO, W.K., MARQUES, M.O., BELLINGIERI, P.A., TOSTES, D.R.D. Acúmulo de metais pesados na cultura de cana-de-açúcar cultivada em solo acrescido de lodo de esgoto. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8, 1996, Guaratinguetá. *Anais ...* São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 1996. 278p.

MASCARENHAS, H.A.A. *Acúmulo de matéria seca, absorção e distribuição de elementos na soja durante o seu ciclo vegetativo*. Piracicaba, 1972. 100p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

MAZUR, N., SANTOS, G.A., VELLOSO, A.C.X. Efeito do composto de resíduo urbano na disponibilidade de fósforo em solo ácido. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.7, p.153-6, 1983a.

MAZUR, N., VELLOSO, A.C.X., SANTOS, G.A. Efeito do composto de resíduo urbano no pH e alumínio trocável em solo ácido. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.7, p.157-9, 1983b.

MELO, W.J., MARQUES, M.O., SANTIAGO, G., CHELLI, R.A., LEITE, S.A.A. Efeito de doses de lodo de esgoto sobre a matéria orgânica e a CTC de um latossolo cultivado com cana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, Goiânia. *Resumos ...* Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. v.2, p.253-4.

BALDEÓN, J. R. M. *Efeito da ação alcalinizante e da competição entre silicato e fosfato na eficiência do termofosfato magnésiano em solos ácidos*. Piracicaba, 1995. 88p. Tese (Doutorado em Agronomia / Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

MENGEL, K., KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. 3.ed. Bern: International Potash Institute, 1982. 655p.

MILTHORPE, F.L., MOORBY, J. *An introduction to crop physiology*. Cambridge: Cambridge University, 1974. 201p.

- MISHRA, M.M., BANKAR, K.C. Rock phosphate composting: transformation of phosphorus forms and mechanisms of solubilization. *Biol. Agric. Hort.*, v.3, p.331-40, 1986.
- MISHRA, M.M., KAAPOOR, K.K., YADAV, K.S. Preparation of P - enriched compost with rock phosphate and its effects on crop yield. *Indian J. Agric. Sci.*, v.52, p.674-78, 1982.
- MORAES, C.P. A., NOGUEIRA, F.D., ALVARENGA, M.A.R. Efeito de diferentes níveis de fósforo e de gesso sobre algumas características morfológicas da planta da batata (*Solanum tuberosum* L.). *Hortic. Bras.*, v.9, n.1, p.45, 1991.
- MORAES, E.C., MAGNANI, M., FREIRE, C.J.S., FONSECA, V.O., LEAL, M.L.S. Calagem e adubação fosfatada na cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO, 24 e REUNIÃO LATINO AMERICANA DE OLERICULTURA, 1, 1984, Anais ... São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 1984. p.2
- MOREIRA, J.A. *Efeitos da tensão da água no solo e do parcelamento da adubação nitrogenada, sobre o crescimento e produtividade do feijão-vagem (Phaseolus vulgaris L.)*. Botucatu, 1993. 100p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

MORELLI, J.L., BELLI, E.J., BAPTISTELLA, J.R., DEMATTÊ, J.L.I. Termofosfato na produtividade da cana-de-açúcar e nas propriedades químicas de um solo arenoso de baixa fertilidade. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.15, p.57-61, 1991.

MUÑOZ, A.R., WIECZORECK, P.A. Fertilización de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en suelos andosoles del Departamento de Nariño, Colombia. *Rev. Inst. Colomb. Agropecu.*, v.13, p.473-84, 1978.

MUZILLI, O., RÍSPOLI, J.C.S., COSTA, N.A. *Efeito da adubação fosfatada em solos ácidos do Sul do Paraná*. Curitiba: Escola de Agronomia da Universidade Federal do Paraná, 1971. 7p. (Nota Preliminar)

NAKAGAWA, J., BÜLL, L.T., BOARETTO, A.E., FELIPPE, L.A. Avaliação do efeito do termofosfato na fertilidade de dois solos através do uso de métodos químicos e biológicos. *Rev. Agric.*, v.58, p.125-39, 1983.

NUNES, M.R. Eficiência agronômica de cinco fosfatos aplicados a lanço no sulco de plantio, em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia. *Resumos ...* Goiânia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. p.213-4.

OBIHARA, C.H., RUSSEL, W. Specific adsorption of silicate and phosphate by soils. *J. Soil Sci.*, v.23, n.1, p.105-17, 1972.

- OMATOSO, T.I. Organic phosphorus contents of some cocoa growing soils of Southern Nigeria. *Soil Sci.*, v.112, p.95-9, 1971.
- ORTIZ, O.G.B., CABALLERO, S.U., ALVAREZ, A.L. Influência da época de aplicação de 32P - Superfosfato triplo na eficiência da fertilização fosfatada e na produtividade da batata. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.23, p.963-70, 1988.
- PAULA, M.B., FONTES, P.C.R., NOGUEIRA, F.D. Produção de matéria seca e absorção de macronutrientes por cultivares de batata. *Hortic. Bras.*, v.4, n.1., p.10-6, 1986.
- PEREIRA, A.R., ARRUDA, H.V. *Ajuste prático de curvas na pesquisa biológica*. Campinas: Cargill, 1987. 50p.
- PEREIRA, A.R., MACHADO, C.E. Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais. *Bol. Téc. Inst. Agron. Campinas*, n.114, p.1-33, 1987.
- PINO, N.I. Fósforo en suelos vulcánicos. In: REUNIÓN DE ESPECIALISTAS EN SUELOS VULCÁNICOS, 1982, Santiago. *Anales ...* Santiago: Universidad de Chile, 1982. p.121-49.
- PORTELA, M.C.L.S., LIMA, L.E. Avaliação de doses de fósforo e de potássio em regossolo do vale do Ipojuca, PE, na cultura da batata. *Hortic. Bras.*, v.10, n.1, p.64, 1992.

- PORTES, T.A., CASTRO JÚNIOR, L.G. Análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.*, v.3, p.53-6, 1991.
- RADFORD, P.J. Growth analysis formulae: their use and abuse. *Crop Sci.*, v.7, n.3, p.171-5, 1967.
- RAIJ, B., CABALA, R.P., LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil: apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A.J., LOURENGO, S., GORDERT, W.J. *Adubação fosfatada no Brasil*. Brasília: EMBRAPA, 1982. p.1-19.
- RAIJ, B., FEITOSA, C.T., GROHMAN, F. Eficiência agronômica de fosfatos naturais brasileiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, Salvador, 1981. *Anais...* Ilhéus: CEPLAC, CEPEC, 1981. p.46-67.
- RAIJ, B. *Avaliação da fertilidade do solo*. Piracicaba: Instituto da Potássia e Fosfato, 1981. cap.7, p.95-106.
- RAJAN, S.S.S. Phosphate adsorption and the displacement of structural silicon in an allophane clay. *J. Soil Sci.*, v.26, p.250-6, 1975.
- RODRIGUES, S.D. *Influência de diferentes níveis de cálcio, sobre o desenvolvimento de plantas de estilósantes (Stylosanthes guyanensis (Aubl.) Swartz cv. Cook)*,

em cultivo hidropônico. Botucatu, 1990. 180p. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

RODRIGUES, S.D. *Análise de crescimento de plantas de soja (Glycine max (L.) Merrill) submetidas a carências nutricionais*. Rio Claro, 1982. 165p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista.

ROSOLEM, C.A. Nutrição mineral e adubação da soja. *Bol. Tec. Inst. Potassa*, v.6, p.1-80, 1980.

SANCHES, P.A. Fósforo, silício y azufre. In: *Suelos del tropicos: características y manejo*. San José: IICA, 1981. 234p.

SANTOS, C.E.R., STAMFORD, N.P., SANTOS, D.R. Efeito do composto de lixo urbano suplementado com fósforo e da inoculação com *Bradyrhizobium* em caupi. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.16, p.25-30, 1992.

SEATZ, L.F., TIDALE, S.L., WINTERS, E. Crop response to fused tricalcium phosphate. *Agron. J.*, v.46, p.574-9, 1954.

SÉSTAK, Z., CATSKÝ, J., JARVIS, P.G. *Plant photosynthetic production: manual of methods*. The Hague: Dr. W. Junk, 1971. 818p.

SHERMAN, G.D. Crop Growth response applications of calcium silicate to tropical soil in Hawaian Islands. *Agricu. Digest*, v.18, p.11-9, 1969.

SILVA, V.M.L., MAGALHÃES, J.R. Respostas de cultivares de batata a baixos níveis de Ca em solução nutritiva. *Hortic. Bras.*, v.3, n.1, p.92, 1985.

SINGH, R.D., DHAR, N.R. Effect of organic matter without and with rock phosphate on crop yield, quality and soil characteristics. *Indian J. Agric. Sci.*, v.56, p.539-43, 1986.

SMYTH, T.J. *Comparison of the effects of phosphorus, lime and silicate application of phosphorus sorption in exchange and rice growth in an oxisol from the cerrado of Brasil*. Raleigh, 1976. 138p. Thesis (Ph.D) - North Carolina State University.

SOUSA, E.S., LOPES, A.J.R., STAMFORD, N.P., FERRAZ, E.B., OLIVEIRA, J.P., FIGUEIREDO, M.V.B. Efeito do composto urbano, nitrogênio e mineralizantes em características químicas de um PVA cultivado com caupi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, Goiânia. *Resumos ...* Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. v. 3, p.247-8.

SOUZA, E.C.A., FERREIRA, M.E. Zinco. In: FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C. (Ed.). *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba, Potafos, 1991. p.219-42.

SOUZA, P.S., SAIA, V.S., GOTARDO, J.G., SANTOS, C.C., BELLINGIERI, P.A.

Efeito de doses de lodo de esgoto e de vinhaça sobre as propriedades químicas de um latossolo e nas características agronômicas, nutricionais e teores de alguns íons metálicos pesados na cultura da soja (*Glycine max* L.) cv. Foscarin. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8, Guaratinguetá. *Anais ...* São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 1996. p.278.

STONE, L.F., PORTES, T.A., MOREIRA, J.A.A. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro II. crescimento. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.23, p.503-10, 1988.

STUKENHOLTZ, D.P., OLSEN, R.J., GOGAN, G., OLSON, R.A. On the mechanism of phosphorus-zinc interaction in corn nutrition. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, v.30, p.759-63, 1966.

SUMNER, M.E., FARINA, M.W. Phosphorus interaction with other nutrients and lime in field cropping systems. *Adv. Soil Sci.*, v.5, p.201-36, 1986.

TORRES, W. Ajuste de curvas del crecimiento de plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) por medio de diferentes funciones matematicas. *Cultivos Tropicales*, v.10, p.74-81, 1988.

TURNER, N.C., BEGG, J.E. Plant-water relations and adaptation to stress. *Plant Soil*, v.58, p.97-131, 1981.

URCHEI, M.A. *Efeitos de défices hídricos, em três estádios fenológicos da cultura da cevada (Hordeum vulgare L.)*. Botucatu, 1992. 165p. Dissertação (Mestrado em Irrigação de Drenagem) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

VILLAGARCÍA, S., MEYER, R., URQUIAGA, S. *Resultados de ensayos de invernadero y de campo sobre fertilización y nutrición mineral del cultivo de papa; nutrición fosfatada - período 1975-1977*. Lima: Centro Internacional de la Papa, 1978. 120p.

VILLAS BÔAS, R.L., BÜLL, L.T., BOARETTO, A.E. Estudo da disponibilidade de fósforo do lodo de esgoto aplicado ao solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 4, Taubaté. *Anais ...* Taubaté: Universidade de Taubaté, 1984. p.93.

VOLKWEISS, S.J., RAIJ, B. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO: BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4, Brasília, 1976. *Anais ...* São Paulo: EDUSP, 1977. p.317-32.

WALLACE, D.H., MUNGER, H.M. Studies on the physiological basis for yield differences. I. Growth analysis of six dry bean varieties. *Crop Sci.*, v.5, p.343-8, 1965.

- WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. *Adv. Agron.*, v.4, p.101-44, 1952.
- WHALE, D.M., HEILMEIER, H., MILBRODT, H. The application of growth analysis to structure experimental designs and a new procedure for estimating unit leaf rate and its variance. *Ann. Bot. (Lond.)*, v.56, p.631-50, 1985.
- WILSON, J.W., HUNT, R., HAND, D.W. Philosophical aspects of measurements, equations and inferences in plant growth studies. *Ann. Bot. (Lond.)*, v.58, p.73-80, 1986.
- WOLFE, D.W., FERERES, E., VOSS, R.E. Growth and yield of two potato cultivars to various levels of applied water. *Irrig. Sci.*, v.3, p.211-22, 1983.
- WRIGHT, J.L., STARK, J.C. Potato. In: STEWART, B.A., NIELSEN, D.R. (Eds.). *Irrigation of agricultural crops*. Madison: American Society Agronomy, 1990. p.859-88.
- YASUDA, M. *Comportamento de fosfatos silicatados em solo de cerrado*. Piracicaba, 1989. 62p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

YOST, R.S., NADERMAN, G.C., KAMPRATH, E.J., LOBATO, E. Availability of rock phosphate as measured by an acid tolerant pasture grass and extractable phosphorus. *Agron. J.*, v.74, p.462-8, 1982.

ZAAG, D.E. *Abastecimento de água na cultura da batata*. Haia: Instituto Holandês de Consulta sobre a batata. 1982. 20p.

ZULLO JR., ARRUDA, F.B. Programa computacional para ajuste de equações em dados experimentais. *Bol. Téc.Inst. Agron. Campinas*, n.113, p.1-23, 1986.