**DIÓXIDO DE CARBONO VIA FERTIRRIGAÇÃO EM
BATATEIRA (*Solanum tuberosum* L.) SOB
CONDIÇÕES DE CAMPO**

WALTER GEREMIAS RODRIGUEZ ROBLES

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de
São Paulo, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia, Área de Concentração:
Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA

Estado de São Paulo – Brasil

Agosto - 2003

**DIÓXIDO DE CARBONO VIA FERTIRRIGAÇÃO EM
BATATEIRA (*Solanum tuberosum* L.) SOB
CONDIÇÕES DE CAMPO**

WALTER GEREMIAS RODRIGUEZ ROBLES

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **TARLEI ARRIEL BOTREL**

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de
São Paulo, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia, Área de Concentração:
Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Agosto - 2003

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Rodriguez Robles, Walter Geremias

Dióxido de carbono via fertirrigação em batateira (*Solanum tuberosum* L.) sob condições de campo / Walter Geremias Rodriguez Robles. - - Piracicaba, 2003.

160 p.

Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2003.
Bibliografia.

1. Batata 2. Gás carbônico 3. Irrigação por gotejamento 4. Produção vegetal 5. Qualidade da produção 6. Tubérculos I. Título

CDD 633.491

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Aos meus pais: Dimas e Santa,
Irmãos: Román, Feliciano (*em memória*),
Aída, Beltran e Elisabeth,
pelo carinho, compreensão e incentivo.

Ofereço

A minha esposa Patrícia Anchorena e minha
filha Natalia, pelo amor e compreensão.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela fé e força concedida em todos os momentos.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, por abrir suas portas para me receber.

Ao Departamento de Engenharia Rural, pela oportunidade concedida para realização deste curso.

Ao Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel, pela orientação, apoio e amizade durante a permanência no curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Ricardo Ferraz de Oliveira pelo apoio na pesquisa e ter facilitado o laboratório do Depto. de Ciências Biológicas.

À Professora Dra. Silene Bruder Silveira Sarmento pela colaboração na análise das características tecnológicas permitindo o uso do laboratório do Depto. de Agroindústria, Alimentos e Nutrição - seção de amido e féculas. Assim também à funcionária Carlota.

Ao Prof. Dr. Edwin Marcos Moises Ortega do Depto. Ciências Exatas, pela contribuição na realização da análise estatística.

Ao Prof. Dr. Sergio Nascimento Duarte e ao colega Denis Cesar Cararo pela colaboração na correção do trabalho.

Aos professores do Depto. de Engenharia Rural pelo ensinamento durante o curso.

Ao Prof. Dr. Newton do Prado Granja, pesquisador do IAC – Seção Tubérculos e Raízes, pela suas sugestões e pelo fornecimento da batata-semente do cultivar Itararé.

Ao Prof. Dr. Paulo César Tavares de Melo do Depto. de Produção Vegetal-ESALQ/USP, pela suas sugestões no decorrer da pesquisa.

Ao Engº Natalino Shimoyama, Gerente Geral da Associação Brasileira da Batata (ABBA) pelo fornecimento da batata-semente dos cultivares Atlantic, Jatte-Bintje e Monalisa.

Aos funcionários do Depto. de Engenharia Rural, pelo apoio e colaboração durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos colegas de Irrigação e Drenagem pela convivência durante a permanência no curso.

Aos Funcionários da Biblioteca Central da ESALQ/USP, pelo apoio e colaboração com o material bibliográfico.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente colaboraram para que este material fosse realizado.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	xi
SUMMARY.....	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Irrigação localizada.....	3
2.1.1 Características de irrigação por gotejamento.....	5
2.1.2 Respostas das plantas ao sistema de irrigação por gotejamento.....	7
2.2 Considerações gerais sobre a batateira.....	7
2.2.1 Descrição das variedades estudadas.....	8
2.2.1.1 Itararé.....	8
2.2.1.2 Atlantic.....	9
2.2.1.3 Jatte-Bintje.....	9
2.2.1.4 Monalisa.....	10
2.2.2 Épocas de plantio.....	10
2.2.3 Fases da cultura.....	11
2.2.3.1 Fase inicial.....	11
2.2.3.2 Fase Vegetativa.....	11
2.2.3.3 Fase de tuberização.....	12
2.2.3.4 Fase de senescência.....	12

2.2.4 Extração de nutrientes.....	12
2.2.5 Período de exigência e acúmulo de nutrientes.....	13
2.2.6 Qualidade dos tubérculos.....	14
2.3 Dióxido de carbono (CO ₂).....	17
2.4 Metabolismo fotossintético na batateira.....	19
2.5 Efeitos de CO ₂ no solo e na planta.....	23
2.6 Dióxido de carbono e efeitos evolutivos.....	28
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 Estudo preliminar.....	30
3.1.1 Ponto de saturação de luz e ponto de compensação de CO ₂	30
3.1.2 Princípio de funcionamento do aparelho IRGA.....	30
3.1.3 Experimento preliminar.....	31
3.2 Caracterização da área experimental a campo.....	33
3.3 Experimento I.....	34
3.3.1 Delineamento experimental.....	34
3.3.2 Caracterização Física e Química do Solo.....	35
3.3.3 Preparo do solo e plantio.....	36
3.3.4 Manejo de irrigação e aplicação de CO ₂	37
3.3.5 Uniformidade de irrigação.....	42
3.3.6 Parâmetros avaliados.....	43
3.3.7 Amostragem de parte aérea, raízes e tubérculos.....	46
3.3.8 Produtividade total de tubérculos.....	46
3.3.9 Produtividade comercial de tubérculos.....	47
3.3.10 Teor de sólidos solúveis totais.....	47
3.4 Experimento II.....	48
3.4.1 Características gerais.....	48
3.4.2 Delineamento experimental.....	49
3.4.3 Sistema de irrigação.....	51
3.4.4 Plantio e condução da cultura.....	51
3.4.5 Aplicação e manejo de CO ₂	51

3.4.6 Medição de pH no solo.....	53
3.4.7 Parâmetros avaliados.....	53
3.4.8 Amostragem de parte aérea, raízes e tubérculos.....	53
3.4.9 Produtividade total de tubérculos.....	54
3.4.10 Produtividade comercial de tubérculos.....	54
3.4.11 Características tecnológicas dos tubérculos.....	54
3.4.11.1 pH.....	55
3.4.11.2 Acidez titulável.....	55
3.4.11.3 Firmeza.....	56
3.4.11.4 Sólidos solúveis totais.....	56
3.4.11.5 Coloração da polpa.....	56
3.4.11.6 Teor de matéria seca.....	56
3.4.11.7 Teor de açúcares redutores.....	57
3.4.11.8 Teor de amido.....	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
4.1 Estudo preliminar.....	58
4.1.1 Ponto de saturação de luz e ponto de compensação de CO ₂	58
4.2 Experimento I.....	60
4.2.1 Elementos meteorológicos.....	60
4.2.2 Uniformidade de irrigação.....	61
4.2.3 Manejo de irrigação e aplicação de CO ₂	62
4.2.3.1 Irrigação.....	62
4.2.3.2 Aplicação de CO ₂	64
4.2.4 Acúmulo de nutrientes na parte aérea, raízes e tubérculos.....	65
4.2.5 Análise de Crescimento.....	71
4.2.5.1 Número de folhas.....	71
4.2.5.2 Número de estolões.....	72
4.2.5.3 Número de tubérculos.....	73
4.2.5.4 Área foliar.....	75
4.2.5.5 Massa seca da parte da parte aérea.....	76

4.2.5.6 Massa seca de raízes.....	78
4.2.5.7 Massa seca de tubérculos.....	79
4.2.5.8 Índice de área foliar.....	80
4.2.5.9 Relação parte aérea/raízes.....	81
4.2.5.10 Razão de área foliar.....	83
4.2.5.11 Produtividade total de tubérculos.....	86
4.2.5.12 Classificação comercial de batata.....	87
4.2.5.13 Sólidos solúveis totais dos tubérculos.....	89
4.3 Experimento II.....	91
4.3.1 Elementos meteorológicos.....	91
4.3.2 Uniformidade de irrigação.....	92
4.3.3 Manejo de irrigação e aplicação de CO ₂	93
4.3.3.1 Irrigação.....	93
4.3.3.2 Aplicação de CO ₂	95
4.3.4 Medição de pH no solo.....	96
4.3.4.1 Cultivar Atlantic.....	96
4.3.4.2 Cultivar Jatte-Bintje.....	97
4.3.4.3 Cultivar Monalisa.....	99
4.3.5 Acúmulo de nutrientes na parte aérea, raízes e tubérculos.....	100
4.3.6 Análise de crescimento.....	106
4.3.6.1 Cultivar Atlantic.....	106
4.3.6.2 Cultivar Jatte-Bintje.....	110
4.3.6.3 Cultivar Monalisa.....	113
4.3.7 Análise de variância e comparações múltiplas da produtividade das três cultivares referente às dosagens de CO ₂	116
4.3.7.1 Cultivar Atlantic.....	116
4.3.7.2 Cultivar Jatte-Bintje.....	117
4.3.7.3 Cultivar Monalisa.....	118
4.3.8 Produtividade total dos tubérculos.....	119

4.3.9 Classificação comercial de batata dos três cultivares referente às três dosagens de CO ₂	121
4.3.10 Características tecnológicas dos tubérculos.....	122
4.3.10.1 pH dos tubérculos.....	122
4.3.10.2 Acidez titulável.....	123
4.3.10.3 Firmeza.....	124
4.3.10.4 Sólidos solúveis totais.....	125
4.3.10.5 Cor da polpa.....	126
4.3.10.6 Matéria seca.....	129
4.3.10.7 Açúcares redutores.....	130
4.3.10.8 Amido.....	132
5 CONCLUSÕES.....	134
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	136
ANEXOS.....	151

DIÓXIDO DE CARBONO VIA FERTIRRIGAÇÃO EM BATATEIRA
(*Solanum tuberosum* L.) SOB
CONDIÇÕES DE CAMPO

Autor: WALTER GEREMIAS RODRIGUEZ ROBLES

Orientador: Prof. Dr. TARLEI ARRIEL BOTREL

RESUMO

Com o objetivo de se estudar os efeitos do enriquecimento com CO₂ sobre as características fisiológicas da cultura da batateira e a sua influência na produtividade e qualidade dos tubérculos, foi conduzida a pesquisa em condições de campo na área experimental da Fazenda Areão pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP, localizado no município de Piracicaba - São Paulo. Foram conduzidos dois experimentos. No primeiro, trabalhou-se com o cultivar Itararé e as concentrações de CO₂ foram: T1=0 (sem aplicação de CO₂); T2= 205,20; T3= 279,36; T4= 353,52; e T5= 427,68 Kg ha⁻¹ de CO₂. Os parâmetros avaliados foram: número de folhas (NF), número de estolões (NE), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), número de tubérculos (NT), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR), massa seca de tubérculos (MST), relação parte aérea/raízes, produção de batata, teor de matéria seca

(TMS) e teor de sólidos solúveis totais (TSST). O delineamento estatístico para os parâmetros avaliados durante o desenvolvimento fisiológico foi de parcelas subdivididas no tempo; o delineamento utilizado para análise da produção foi de blocos ao acaso. Já no experimento II, trabalhou-se com os cultivares Atlantic, Jatte-Bintje e Monalisa e as concentrações de CO₂ foram: T1= 0, T2=145,36 e T3=290,72 kg ha⁻¹. Os parâmetros avaliados foram os mesmos que no experimento I e também: pH do solo, pH da polpa, acidez titulável (AT), firmeza da polpa (FP), TSST, cor da polpa (CP), TMS, teor de açúcares redutores (TAR) e amido dos tubérculos. O delineamento estatístico para os parâmetros avaliados durante o desenvolvimento fisiológico foi o de análise de regressão múltipla, enquanto o delineamento utilizado para análise da produção, pH da polpa, AT, FP, TSST, CP, TMS, AR e amido foi de blocos ao acaso, com arranjo fatorial 3 x 3. Do experimento I conclui-se que o cultivar Itaráré não apresentou variação de produtividade total com o aumento das doses de CO₂; mais de 50% da produção comercial do cultivar Itaráré foi classificada como classe especial independente das doses de CO₂; o TSST nos tubérculos do cultivar Itaráré decresceram com o aumento das doses de CO₂. Do experimento II conclui-se que a produtividade total de batata dos cultivares Atlantic, Jatte-Bintje e Monalisa diminuiu com doses crescentes de CO₂; o cultivar Monalisa apresentou maior produtividade do que os cultivares Jatte-Bintje e Atlantic, respectivamente, independente das doses de CO₂; a aplicação de CO₂ nos cultivares Atlantic, Jatte-Bintje e Monalisa não alterou significativamente a acidez, o TSST e o TMS dos tubérculos. Entretanto, os tubérculos dos cultivares Monalisa e Atlantic perderam firmeza, e o cv. Jatte-Bintje não sofreu impacto do tratamento. Os cultivares Atlantic e Jatte-Bintje apresentaram variação do teor de amido com a aplicação de CO₂. Além disso, houve aumento de TAR no cultivar Jatte-Bintje com a aplicação do tratamento.

CARBON DIOXIDE THROUGH IRRIGATION IN POTATOES (*Solanum tuberosum* L.) UNDER FIELD CONDITIONS

Author: WALTER GEREMIAS RODRIGUEZ ROBLES

Adviser: Prof. Dr. TARLEI ARRIEL BOTREL

SUMMARY

With the objective to study the effects with CO₂ enrichment on the physiological characteristics of potatoes and its influence in the productivity and quality of the tubers, this research was carried out in field conditions at the experimental area “Fazenda Areão” of the Department of Rural Engineering of the “Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo”, in Piracicaba, São Paulo State, Brazil. Two experiments was carried out. In the experiment 1 with cultivar Itararé the CO₂ levels were: T1=0 (without application of CO₂) T2 = 205,20; T3 = 279,36; T4 = 353,52; and T5 = 427,68 kg ha⁻¹. The appraised parameters were: leaves number, stolons number, area foliate, index of the area foliate, tubers number, dry mass of the aerial part, dry mass of the roots, dry mass of the tubers, aerial/roots ratio, potato productivity, content of dry matter, content of soluble solids. The statistical design was of split-plot in the time for the appraised parameters during the physiologic development and randomized blocks for the analysis of the productivity. In the experiment 2, with Atlantic, Jatte-Bintje and Monalisa cultivars; the CO₂ levels

were: $T1 = 0$, $T2=145,36$ and $T3=290,72 \text{ kg ha}^{-1}$. The appraised parameters were the same ones that in the experiment 1, including the soil pH, pulp pH, acidity, firmness of the pulp, the content of soluble solids, color of the pulp, content of dry matter, reducers sugars and starch of the tubers. The design statistical was analysis of multiple regression for the appraised parameters during the physiologic development and randomized block design with factorial arrangement 3×3 for the analysis productivity, pulp pH, acidity, pulp firmness, content of soluble solids, pulp color, content of dry matter, reducers sugars and starch of the tubers. From the experiment 1 it was concluded that cultivar Itararé did not present variation of total productivity with the increase of the CO_2 levels; more than 50% of the commercial production of the Itararé cultivar was classified as special class independent of the CO_2 levels; content of soluble solids in the tubers of the Itararé cultivar decreased with the increase of the CO_2 levels. From the experiment 2 it was concluded that the total productivity of potato in Atlantic, Jatte-Bintje and Monalisa cultivars decreased with increasing of the CO_2 levels; Monalisa cultivar presented larger productivity than Jatte-Bintje and Atlantic cultivars, respectively, independent of the CO_2 levels; Atlantic cultivar presented larger percentage of tubers of special class than the Monalisa and Jatte-Bintje cultivars, respectively, independent of the amount of applied CO_2 ; the application of CO_2 in Atlantic, Jatte-Bintje and Monalisa cultivars did not alter the acidity significantly and the content of soluble solids and the content of dry matter of the tubers. However, the tubers of the Monalisa and Atlantic cultivars lost firmness and the Jatte-Bintje cultivar did not suffer impact of the treatment; the Atlantic and Jatte-Bintje cultivars ranged the content of starch with the application of CO_2 . Besides, the content of reducers sugars in Jatte-Bintje cultivar increased with the treatment application.

1 INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum*) é uma das hortaliças de maior importância sócio-econômica no Brasil e a quarta fonte de alimentos para a humanidade, superada apenas pelo arroz, milho e trigo (Althoff & Silva, 1998). Tem ocorrido um incremento na produção nacional, devido ao aumento da produtividade por área, decorrente principalmente da melhoria do material de propagação, permitindo, o melhor aproveitamento dos insumos modernos utilizados (Dias, 1993).

Em países onde a agricultura irrigada é plenamente dominada, uma das práticas utilizadas é a aplicação de fertilizantes, herbicidas e inseticidas, via água de irrigação, também denominada “fertirrigação” (Costa et al., 1986). Avanços tecnológicos na área de irrigação e carbonatação da água fizeram da fertilização com gás carbônico uma opção de ponta a ser considerada na bataticultura. O CO₂ absorvido é fixado e transformado em carboidratos, por meio de processos metabólicos específicos, que ocorrem no interior do tecido vegetal. O incremento na absorção de CO₂, aumenta a eficiência fotossintética das plantas, acarretando conseqüentemente, maior produtividade e qualidade. Além desse mecanismo, há outros fatores que atuam sinergicamente sobre a planta, aumentando a eficiência do processo de fertilização carbônica (Durão & Galvão, 1995).

O presente experimento teve por objetivo determinar os efeitos da aplicação de diferentes dosagens de CO₂, via sistema de irrigação por gotejamento, na produtividade e qualidade do tubérculo da batata, em condições de campo aberto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Irrigação localizada

A irrigação localizada consiste na aplicação de água diretamente sobre a região radicular, em pequenas quantidades e com alta frequência, tendo-se a opção de manter a umidade do solo próximo ao ideal para o desenvolvimento da planta. O sistema por gotejamento pode ser constituído por tubogotejadores, gotejadores *on line* ou gotejadores *in line* (Marouelli et al., 1994).

San Juan (1988) caracterizou o gotejamento como o sistema que consegue manter a água na zona radicular nas condições de utilização mais favoráveis à planta.

Segundo Karmeli & Keller (1974), a uniformidade de aplicação de água na irrigação por gotejamento é afetada pelos seguintes fatores: variações na pressão devido a perdas de carga ou elevações no terreno, variações entre emissores devido ao processo de fabricação e possíveis entupimentos. Os autores desenvolveram técnicas e critérios para determinar a uniformidade de distribuição da irrigação por gotejamento. Foi definida a uniformidade de emissão (E_{ua}) em função dos parâmetros vazão mínima e a vazão máxima na parcela. Estabeleceram como regra geral que um sistema de irrigação por gotejamento não deve ser projetado para valor de uniformidade de emissão absoluta (E_{ua}) menor que 90%.

Na irrigação por gotejamento, as raízes se concentram em um volume reduzido de solo, razão pela qual a aplicação de fertilizantes através da rede

de irrigação deve ser logicamente mais eficiente que com os sistemas tradicionais, tanto de irrigação como de fertilização.

Bernardo (1995) relata que a irrigação por gotejamento compreende os sistemas de irrigação nos quais a água é aplicada ao solo, diretamente sobre a região radicular em pequenas vazões ($1-10 \text{ L h}^{-1}$) porém com alta frequência, de modo que mantenha a umidade do solo na zona radicular próximo a “capacidade de campo”. Assim sendo, a aplicação de água é feita através de tubos perfurados com orifícios de diâmetros reduzidos ou por meio de pequenas peças denominadas gotejadores, conectadas em tubulações flexíveis de polietileno, trabalhando a pressão entre 0,5 a 2,5 atmosferas (atm), sendo que a pressão de serviço da maioria dos tipos de gotejadores está em torno de 1 atm.

O sistema consta de tubos de plástico furados ou providos de gotejadores, colocados na superfície do solo ao longo das fileiras das plantas, e de uma tubulação principal para o abastecimento de água. Os tubos permanecem no terreno durante o ciclo vegetativo, gotejando a água no solo diariamente. Este permite a aplicação de fertilizantes solúveis pela água de irrigação.

A maior vantagem do gotejamento em relação aos outros sistemas consiste no excelente controle na aplicação da água. Esta é distribuída diariamente na quantidade mais próxima possível à do consumo da planta. A evaporação da superfície do solo é mínima e a percolação profunda é quase inteiramente eliminada.

O déficit de umidade no solo permanece em nível muito baixo pela irrigação diária, sendo mantida a aeração do solo. Adicionando-se fertilizantes à água, estes são transportados diretamente às raízes das plantas e, na forma solúvel, são absorvidos quase de imediato pela cultura (Withers & Vipond, 1977).

2.1.1 Características de irrigação por gotejamento

Segundo Abréu et al. (1987) e San Juan (1988), a irrigação por gotejamento apresenta as seguintes características:

- a água é aplicada no solo desde uma fonte que pode se considerar pontual, infiltra-se no terreno e se movimenta na direção horizontal e vertical,
- não ocorre molhamento total do solo, mas sim parcial, que varia com as características do solo, a vazão do gotejador e o tempo de aplicação. Nesta parte úmida é onde há maior concentração de raízes e onde ocorre o processo de absorção,
- como existem zonas secas não exploradas pelas raízes e zonas úmidas, pode-se considerar de certo modo um cultivo em faixa ou sulcos, mas com um sistema radicular inferior ao normal,
- a manutenção de um nível ótimo de umidade no solo implica em uma baixa tensão de água no mesmo. O nível de umidade que se mantém no solo permanece constantemente próximo à capacidade de campo.
- requer uma adubação freqüente, porque como consequência do movimento permanente da água no bulbo pode se produzir uma lixiviação excessiva de nutrientes.

Alguns problemas apresentados pelo sistema de irrigação por gotejamento são descritos por Bernardo (1989):

- Entupimento - sendo o diâmetro dos orifícios muito pequeno a exigência de água limpa é uma característica inerente. A fim de minimizar a ocorrência de entupimento, a filtragem e o controle de pH da água faz parte do próprio sistema, para evitar a obstrução dos gotejadores causada por partículas minerais, orgânicas ou precipitados.
- Distribuição no sistema radicular - devido à formação e manutenção de um volume constante de solo umedecido, as raízes dos vegetais tendem a concentrar-se nesta região, diminuindo a estabilidade das árvores em regiões sujeitas a ventos com maior intensidade.

A seleção do método para a aplicação de produtos químicos em sistemas de irrigação localizada depende da situação onde a prática é utilizada e das características de funcionamento do método (Mello et. al., 1992).

Os métodos mais apropriados para serem utilizados em sistemas de irrigação localizada são o de pressão diferencial (com o tanque de derivação de fluxo) e o de pressão positiva com a bomba injetora. O primeiro apresenta baixo custo, fácil construção, instalação e operação e não requer fonte de energia externa, apesar da uniformidade de distribuição do produto ao longo de tempo não ser perfeita e da dificuldade de deslocamento e automatização do equipamento. O segundo, por manter a concentração da solução injetada, permite fácil automatização e regulagem, embora apresente custo relativamente mais elevado, e requerer fonte de energia (Mello et. al., 1992).

São vários os aspectos favoráveis à utilização da aplicação de produtos químicos nos sistemas de irrigação localizada, devido à alta eficiência e à redução dos custos de aplicação desses produtos, quando comparados aos métodos tradicionais de aplicação.

A variação da concentração da solução na água de irrigação durante a aplicação afeta diretamente a uniformidade de aplicação do produto nas linhas de plantio, principalmente, quando se têm blocos operacionais e linhas laterais grandes. Esta variação ocorre ao longo do tempo de irrigação, influenciada pelo tipo e a capacidade do equipamento, o produto e a sua taxa de aplicação (Mello et. al., 1992).

Zanini (1987) indica que a maioria dos produtos devem ser injetados em um tempo não inferior de 30 a 40 minutos, devendo-se evitar interrupções e reinício de aplicação, o que prejudicaria a uniformidade de distribuição da substância aplicada às plantas.

2.1.2 Respostas das plantas ao sistema de irrigação por gotejamento

A irrigação por gotejamento permite uma aplicação dos nutrientes ajustada às necessidades da planta, que responde de maneira rápida à fertilização. Conhecendo-se as distintas formas em que os elementos nutritivos estão presentes no fertilizante, pode-se melhor utilizar aquele que permita uma melhor e mais rápida absorção pela planta, ajustando-se conforme a necessidade (Ferrerres, 1981).

Os adubos que têm uma ação concreta sobre determinados processos de desenvolvimento da planta são mais bem aproveitados por meio do gotejamento. Assim, as necessidades de fósforo têm lugar especialmente nas primeiras fases que é quando ocorre o desenvolvimento radicular. Da mesma forma ocorre com o potássio, cujas necessidades são maiores nas plantas no momento que o fruto começa aumentar de tamanho (Ferrerres, 1981).

2.2 Considerações gerais sobre a batateira

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é nativa da América do Sul, da cordilheira dos Andes, onde foi consumida por populações nativas em tempos que remontam a mais de 8.000 anos. Foi introduzida na Europa por volta de 1570, provavelmente por meio de colonizadores espanhóis, tornando-se um alimento importante na Inglaterra. Por volta de 1620, foi levada da Europa para a América do Norte, onde se tornou alimento popular. Atualmente a batata ocupa o 4º lugar entre os alimentos mais consumidos no mundo, sendo superada apenas pelo trigo, arroz e milho (FAO, 1996; EMBRAPA– CNPH, 1997a).

Mundialmente são cultivadas aproximadamente 19,0 milhões de hectares ano⁻¹, com rendimento médio de 16,6 t ha⁻¹. Sendo, China (3.802.000 ha), Rússia (3.250.000 ha), Ucrânia (1.560.000 ha), Polônia (1.251.000 ha) e Índia (1.300.000

ha) responsáveis do 60% da área plantada e 50% da produção mundial (FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO, 2000).

No Brasil, em 2000 foram plantadas 152.000 ha com uma produção total de 2,6 milhões de toneladas, apresentando um rendimento médio de $16,9 \text{ t ha}^{-1}$, sendo superado ainda pela produção da Argentina ($3,5 \text{ milhões t ano}^{-1}$), Peru ($3,2 \text{ milhões t ano}^{-1}$), e Colômbia ($2,7 \text{ milhões t ano}^{-1}$).

As regiões responsáveis pela maior produção brasileira no ano 2000 foram, Sudeste: Minas Gerais (707.570 t), seguido de São Paulo (633.520 t) e sul: Paraná (631.730 t), seguido de Rio Grande do Sul (391.183 t).

2.2.1 Descrição das variedades estudadas

2.2.1.1 Itararé

De origem brasileira, (progenitores: Arensa x Turma x Leo). As plantas são muito vigorosas, com bom aspecto vegetativo e porte alto. Hastes eretas, folhas longas, poucas flores, de cor branca. Frutificação escassa. Ciclo tardio, porém com tuberação precoce (aproximadamente 70 dias). Os tubérculos têm formato oval-alongado ligeiramente achatado, película amarelo-escura, opaca e áspera. “olhos” salientes, polpa amarela. Porcentagem muito grande de tubérculos comerciais. Boa resistência à requeima e à pinta preta, alta resistência ao vírus do enrolamento das folhas. O teor de matéria seca é de baixo a médio. De maneira geral, possui qualidades culinárias consideradas intermediárias. Cultivar bem produtiva, a tendência a produzir tubérculos demasiadamente grandes pode dificultar a produção de batata-semente nos padrões exigidos (EMBRAPA – CNPH, 1997a).

2.2.1.2 Atlantic

Originária de Estados Unidos (batata-semente produzida e comercializada pelo Canadá). Progenitores: Wauseon x B 5451-6 (Lenape). Plantas vigorosas, com hastes grossas, eretas, ciclo médio de 95 dias e flores de coloração rosa. As folhas são grandes e verde-claras. Tubérculos de formato oval-arredondado, película amarela ligeiramente rendilhada, “olhos” medianamente profundos, polpa branca. Suscetível ao coração-oco quando plantada em espaçamentos largos. Dormência média. Moderadamente resistente à requeima e muito resistente ao vírus X. Resistência baixa ou intermediária às demais doenças de maior importância no país. Indicada para processamento como palitos fritos. Porém, produz palitos curtos por ter tubérculos arredondados. Especialmente indicada para produção de “chips”, por apresentar alto teor de matéria seca e pelo formato do tubérculo. Apresenta grande adaptação e estabilidade de produção nas diferentes regiões produtoras, quase sempre com alta porcentagem de tubérculos graúdos (EMBRAPA – CNPH, 1997a).

2.2.1.3 Jatte-Bintje

Originária de Suécia. Progenitores: mutação da ‘Bintje’. Plantas com bom desenvolvimento vegetativo, mais vigorosas e mais rústicas que ‘Bintje’. Poucas hastes, com pigmentação violeta, acamamento regular, indicada para climas mais frios. Ciclo tardio. Tubérculos com formato oval-alongado, uniformes e graúdos, com “olhos” superficiais e película amarela lisa e brilhante, de ótima aparência. Polpa de cor creme. Boa resistência ao esverdeamento e muito sensível ao embonecamento. Baixa resistência à maioria das doenças principais, porém um pouco mais resistente que a ‘Bintje’. Presta-se bem para fritura por conter alto

teor de matéria seca. Também é boa para confecção de purês e saladas (EMBRAPA – CNPH, 1997a; Santos, 1986).

2.2.1.4 Monalisa

Originaria da Holanda, (progenitores: Bierna A1 – 287 x Colmo). Plantas vigorosas, folhagem de desenvolvimento lento, hastes pouco numerosas, grossas, de cor ligeiramente violácea. Folhas bastante grandes, verde-claras. Folíolos grandes, ovais com pecíolos compridos. Hábito de crescimento semi-erecta, acamamento regular. Floração pobre, pequena inflorescência, com flores brancas. Ciclo vegetativo variando entre 90 e 110 dias. Tubérculos com formato oval-alongado, película amarela, lisa, brilhante, “olhos” superficiais, polpa amarela. Medianamente sensível ao embonecamento e rachaduras, susceptível a murcha bacteriana. Baixo teor de matéria seca. Resistente ao esverdeamento. Resistência intermediária à requeima, à pinta-preta e à rizoctoniose. Boa resistência ao vírus do enrolamento das folhas e resistência intermediária aos mosaicos (PVY e PVX). Não se presta à fritura, sendo adequada porém para purês e saladas. Boa estabilidade de produção, produzindo em média 50% de tubérculos com tamanho comercial (EMBRAPA – CNPH, 1997a; Santos, 1986).

2.2.2 Épocas de plantio

O Brasil, com a situação privilegiada em termos de solo e clima, planta e colhe batata todos os meses do ano. A época de plantio, a altitude e a latitude do terreno condicionam as condições agroecológicas (Filgueira, 1999).

As principais safras na cultura da batata nas principais áreas das regiões Sul e Sudeste do Brasil são:

A “das águas”, que é plantada em agosto-dezembro e colhida de novembro em diante. O plantio “de inverno”, realizado de abril a julho e colhido em julho-outubro, é também praticado nessas mesmas regiões, em locais onde não ocorrem geadas, mas depende de irrigações durante o ciclo. Já o cultivo “da seca”, que começa em janeiro-março, deve ser realizado o mais cedo possível para evitar as geadas em regiões onde ocorre inverno rigoroso (EMBRAPA – CNPH, 1997a)

2.2.3 Fases da cultura

2.2.3.1 Fase inicial

A fase de estabelecimento da batateira compreende o período do plantio à emergência e tem duração de 10 a 20 dias. Depende de uma série de fatores como a umidade, a temperatura do solo e o grau de brotação do tubérculo-semente. A deficiência de água pode provocar desigualdade na emergência e ressecamento de brotos.

2.2.3.2 Fase vegetativa

Vai da emergência ao início de tuberização (30-40 dias). A duração pode ser afetada pela temperatura, presença de água e nutrientes do solo e também pelo comprimento do dia (em dias longos as plantas crescem por um período maior). A deficiência moderada de água nesta fase pode limitar o desenvolvimento da planta, mas não chega a comprometer a produção.

2.2.3.3 Fase de tuberização

Período entre o início da tuberização até o início da senescência (45-55 dias). Terá maior ou menor duração dependendo do comprimento do ciclo (longo ou curto), da cultivar plantada e da destinação da produção (para consumo ou semente). É a fase do ciclo mais crítica à deficiência de água.

2.2.3.4 Fase de senescência

Do início da senescência até a colheita (10-15 dias). Nesta fase há uma redução acentuada do consumo de água pela cultura (EMBRAPA – CNPH, 1997a; EMBRAPA – CNPH, 1997b).

2.2.4 Extração de nutrientes

O conhecimento das exigências nutricionais é pré-requisito para se estabelecer a quantidade de fertilizantes que deve ser aplicado para, pelo menos, manter a fertilidade do solo (Magalhães, 1985).

Em Campinas, Garantini (1963), realizou pesquisas sobre absorção de nutrientes da batateira cultivar Bintje em um solo areno-argiloso, adubando com o equivalente a 80-120-60 kg ha⁻¹ dos três macronutrientes, N, P₂O₅, K₂O. Obteve uma produção de 15 t de tubérculos e 6 t de parte aérea ha⁻¹, sendo os seguintes os níveis de macronutrientes extraídos: potássio 112, nitrogênio 56, cálcio 16, enxofre 13, fósforo 11 e magnésio 9 kg ha⁻¹ respectivamente.

2.2.5 Período de exigência e acúmulo de nutrientes

A época de aplicações dos adubos é função de diversas variáveis, como período de exigência da cultura, condições de solo e de clima, elementos, forma em que é fornecido e tipo de adubação (Magalhães, 1985).

Na batateira, a primeira fase é bastante curta, iniciando rapidamente a elevada taxa de crescimento. As necessidades iniciais de N podem indicar a necessidade de fracionar as aplicações dos adubos nitrogenados. É essencial a disponibilidade de N no início do ciclo, visto que a cultura absorve 41% de nutrientes nos 20 dias após a emergência dos brotos (Magalhães, 1985).

Se o solo tiver alto teor de matéria orgânica ($M.O > 3\%$), a quantidade de N no plantio pode ser reduzida em 20%. Posteriormente, deve-se avaliar o estado nutricional nitrogenado da cultura, analisando-se o teor de N na quarta folha completamente desenvolvida, aos 20 dias após a completa emergência das plantas (EPAMIG, 1999).

Recomenda-se o fracionamento dos adubos fosfatados, colocando-se 80% do recomendado no sulco de plantio e incorporando-se o restante por ocasião da amontoa.

Quanto aos adubos potássicos, devem ser adicionados em função do teor existente, colocando-se 30% do recomendado no sulco de plantio e incorporando-se o restante ao solo, imediatamente antes da amontoa (EPAMIG, 1999).

Hawkins (1946), trabalhando com a cv. Green Mountain no Maine (EUA), com uma população de 37.037 plantas ha^{-1} , uma adubação de 126 $kg\ ha^{-1}$ de N, 252 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 e 252 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O e uma produtividade de 29 $t\ ha^{-1}$, observou que o acúmulo máximo de todos os macronutrientes ocorreu cerca de 10 dias antes de se atingir produção máxima de material seco e que o acúmulo maior de matéria seca (MS) da parte aérea ocorreu entre 61-70 dias, e para os

tubérculos, entre 82-91 dias após plantio. O acúmulo máximo de MS total ocorreu 85 dias após plantio. Além disso, reportou que os tubérculos acumularam as maiores quantidades de N, P, e S e, a parte aérea, as maiores quantidades de Ca e Mg. O acúmulo de K foi semelhante tanto na parte aérea como nos tubérculos.

Yorinori (2003), com objetivo de determinar as curvas de crescimento de massa de material seco, o acúmulo máximo e a exportação de nutrientes, realizou um trabalho em Itapetininga-SP em duas safras (das águas e da seca) na cv. Atlantic, com uma população de 41.667 plantas ha⁻¹ e uma produtividade de 36,5 t ha⁻¹ aos 111 DAP para a safra das águas e 24 t ha⁻¹ aos 90 DAP para a safra da seca. Concluiu que a safra das águas produziu mais massa de material seco que a safra da seca. A seqüência de acúmulo máximo na safra das águas foi: N>K>Ca>P>Mg>S>Fe>Mn>Zn>B>Cu. Na safra da seca, o K trocou de posição com o N e o P com o Ca. O acúmulo máximo dos nutrientes depende da safra e do nutriente: N (140 e 119); P (17,6 e 15,2); K (134 e 139); Ca (21,7 e 14,6); Mg (14,3 e 6,9); S (10,8 e 14,6) em Kg ha⁻¹; B (107 e 84,3); Cu (43,5 e 38,9); Fe (1.229 e 790); Mn (250 e 130); Zn (156,6 e 124,6) em g ha⁻¹ para as safras das águas e da seca respectivamente.

2.2.6 Qualidade dos tubérculos

O mercado, com a incorporação de novas tecnologias produtivas, a redução de custos e o lançamento de novos produtos, tende a direcionar ao aumento de consumo por parte dos consumidores mais exigentes em qualidade tecnológica e comodidade (FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO, 2001, 2002).

A batata, uma vez colhida, destina-se para o consumo em forma de cozimento e como matéria prima para a indústria elaborada. Segundo NIVAA (2003), as batatas destinadas ao setor de elaboração devem cumprir vários

requisitos em relação às seguintes características de qualidade: tamanho e forma de tubérculos, danos e defeitos, conteúdo em matéria seca, conteúdo em açúcares redutores e escurecimento não enzimático.

NIVAA¹(2000) citado por Feltran (2002), classifica como adequados para fritas na forma de palito, tubérculos com teores de matéria seca entre 20 e 24% e com até 0,5% de açúcares redutores (base seca), enquanto para chips recomenda entre 22 e 24% de matéria seca e máximo de 0,3% de açúcares redutores.

Na indústria alimentícia a qualidade é de fundamental importância e o conteúdo de matéria seca deve ser alto para evitar a excessiva absorção de gordura durante a produção de produtos processados como fritas, chips, etc. (Storey & Davies, 1992).

Cacace et al. (1994) sugeriram agrupar os teores de matéria seca em três grupos: alto conteúdo de matéria seca (teores maiores que 20%); conteúdo intermediário de matéria seca (teores entre 18,0 e 19,9%) e baixo conteúdo de matéria seca (teores inferiores a 17,9%). Burton (1989) indicou teores de matéria seca entre 21,7 e 24,8% para os tubérculos.

As quantidades de açúcares presentes nos tubérculos de batata são variáveis, sendo os principais açúcares a sacarose, a glicose e a frutose (Kadam et al., 1991).

Os açúcares glicose e frutose são classificados como redutores pela capacidade de reduzir agentes oxidantes como ferrocianeto, peróxido de hidrogênio e o íon Cu^{2+} (Lelhinger, 1988). Segundo Pereira (1987), a sacarose classificada como açúcar não redutor, não afeta a qualidade dos produtos finais, desde que sejam obtidos de tubérculos recém colhidos.

¹ NIVAA. **On the road to processing**. [on line]. 2000.ttp://www.nivaa.nl/nivap/ontheroad.html. [14 abr. 2000].

O conteúdo de açúcares redutores (glicose e frutose) influencia a intensidade de coloração das frituras e o ideal é que seja baixo para evitar o excessivo escurecimento (Woolfe²(1987) citado por Donnelly et al., 2001c).

O escurecimento não enzimático, produto dos processos de fritura, tem sido atribuído à reação entre os açúcares redutores, os amino-ácidos e proteínas (reação de Maillard) e posteriormente, com a extensão do processo de fritura, à queima do produto (caramelização), resultando em sabor amargo (Shallemberger et al., 1959).

Kadam et al. (1991) reportaram uma variação média, em base seca, de 0,5 a 1,0% para sacarose e de 0,5 a 2,0% para os açúcares redutores. Já Pereira (1987), indicou que tubérculos com mais de 2,0% (base seca) de açúcares redutores são considerados inaceitáveis para o processamento.

Segundo Paschoalino (1993), um teor de açúcares redutores menor que 0,1% indica que a batata é boa para fritura ('Bintje', 'Cristal', e 'Atlantic'); entre 0,1 e 0,3% indica que a qualidade de batata é duvidosa ('Piratini' e 'Cerrito Alegre') e acima deste percentual, a batata não é adequada para a fritura ('BR-3', 'Trapeira', 'Santo Amor', 'Monte Bonito', 'Macaca', 'Baronesa', e 'Cascata').

Feltran (2002) estudando a qualidade dos tubérculos em diferentes variedades, reportou 17,9% de matéria seca, 64,1% (base seca) de amido, 0,51% de açúcares redutores, 0,16% de acidez titulável, e 5,19°Brix para a variedade Bintje e 6,42°Brix para a variedade Itará.

O principal componente dos tubérculos de batata é o amido, que é um polímero de glicose e fonte de energia para os seres vivos. A quantidade de amido presente nos tubérculos depende dos cultivares, da forma de condução (controle de doenças e pragas) e da temperatura de armazenamento após colheita (Kadam et al., 1991). Segundo Pereira (1987), o teor de amido compõe

² Woolfe, J. **The potato in the human diet**. Cambridge U.K: Cambridge University, 1987.231p.

de 65 a 80% do peso dos tubérculos, compreendendo a maior parte da matéria seca.

Existe evidência que fatores ambientais podem afetar tanto os níveis de amido quanto outros atributos de qualidade como conteúdo de açúcar e glicoalcaloides que podem influenciar o sabor (Haase & Plate, 1996; Donnelly et al., 2001c).

O conteúdo de amido dos tubérculos é um importante critério na escolha de tubérculos de batata para a produção industrial de amido (Lindhauer & De Fekete, 1990). O teor médio de amido nos tubérculos de batata é de 65 –75% da matéria seca e 16% da matéria fresca dos mesmos (Burton, 1989).

2.3 Dióxido de carbono (CO₂)

O ciclo de carbono na biosfera tem sido significativamente alterado pela atividade do homem nos últimos 150 anos. O CO₂ emitido pela atividade humana é da ordem de 8,5 bilhões de toneladas anuais. Vários modelos teóricos predisseram que a temperatura média global do ar aumentará 3 a 4°C (Manabe & Wetherald, 1967) e como consequência a concentração de CO₂ na atmosfera pode dobrar antes do ano 2025 (Gribbin, 1981).

Estudos relacionados aos efeitos de aumento artificial da concentração de CO₂ sobre as plantas usadas para obtenção de produtos em maior quantidade e melhor qualidade permite-nos conhecer a capacidade das plantas de adaptar-se a esses ambientes (Pinto, 1997).

Acredita-se que as plantas terrestres fixam aproximadamente 25 bilhões de toneladas por ano. O CO₂ atmosférico aparece limitando a fotossíntese, devida que, a maioria das plantas C3 são capazes de fixar maiores taxas de CO₂

na presença de altas concentrações de CO₂ presente na atmosfera (Bolin³(1970); citado por Arteca et al., 1979).

O aumento da concentração de CO₂ está relacionado com o aumento da biomassa, do peso foliar e diminuição do peso específico, em virtude do aumento de açúcares nas folhas, pelo incremento de carboidratos que se armazenam nestes órgãos. Quando as plantas são submetidas a tratamentos prolongados com CO₂, a eficiência fotossintética diminui (Goto & Tivelli, 1997).

Os níveis de CO₂ na atmosfera do solo variam consideravelmente; Stolzy⁴ (1974) citado por Baron & Gorski (1986), encontrou concentrações de CO₂ que variaram de 0,03 a 25%.

A prática de fertilização carbônica, até a última década empregada apenas em cultivos feitos em estufas fechadas, pode agora ser utilizada em estufas semi-abertas e abertas. Avanços tecnológicos na área de irrigação e carbonatação da água fizeram da fertilização com gás carbônico uma opção viável tanto do ponto de vista técnico como econômico (Durão & Galvão, 1995).

A aplicação de gás carbônico nas culturas melhora o metabolismo e o equilíbrio hormonal das plantas, aumenta a fotossíntese e a absorção de nutrientes, resultando em plantas mais produtivas, mais resistentes a doenças e ao ataque de pragas, gerando frutos de melhor qualidade (Kimball et al., 1994).

Esta tecnologia consolidou-se no início dos anos 60, após intenso trabalho de pesquisa desenvolvido na década anterior por pesquisadores norte-americanos e europeus. A fonte de CO₂ utilizada até então, era o querosene e o propano, cuja combustão no interior de estufas gerava, além de CO₂, subprodutos altamente tóxicos para os vegetais, como o propileno, o monóxido de carbono e o óxido de enxofre.

³ Bolin, B. Sci. Am. v.23, n.3, p.125, 1970.

⁴ Stolzy, L.H. Soil atmosphere. In: The Plant Root and Its Environment, Charlottesville: University Press of Virginia. 1974. p.335–362.

A partir dos anos 80, desenvolveram-se novas tecnologias de irrigação localizada, gotejamento e microaspersão, e métodos mais eficientes de carbonatação da água (Durão & Galvão, 1995).

No final dos anos 80, empresas norte americanas que comercializavam gás carbônico para indústrias, interessaram-se pelo processo na atividade agrícola e iniciaram trabalhos com injeção de gás carbônico na água utilizada para irrigação, em culturas a céu aberto, visando aumentar a sua produtividade, com resultados promissores (Sanches, 1992; Idso & Idso, 1994).

No Brasil, as aplicações de dióxido de carbono via água de irrigação são de uso recente e poucos são os estudos ecofisiológicos referentes às trocas de CO_2 em plantas. Existem, ainda, muitos aspectos a esclarecer com relação aos efeitos sobre as plantas, influência na produtividade, melhoria da qualidade de frutos, doses a serem usadas e períodos de aplicação mais adequados para os diferentes tipos de cultivo, para alcançar uma relação custo/benefício máxima (Pinto, 1997).

2.4 Metabolismo fotossintético na batateira

O carbono é o principal componente químico dos vegetais, constituindo aproximadamente 45% da sua matéria seca. A fonte desse carbono é o CO_2 da atmosfera terrestre, que é absorvido pela planta durante a fotossíntese, através de microscópicas aberturas na superfície das folhas, denominados estômatos. O CO_2 absorvido é fixado e transformado em carboidratos, por meio de processos metabólicos específicos que ocorrem no interior de tecido vegetal. A concentração normal desse gás na atmosfera é de aproximadamente 340 ppm (partes por milhão). Considera-se que essa concentração é pouco adequada para o pleno funcionamento do processo fotossintético nos vegetais (Durão & Galvão, 1995).

Absorvido pelos estômatos, o CO_2 percorre os espaços inter e intracelulares do tecido vegetal, até atingir o interior das células chamadas de cloroplastos, local exato onde será desencadeada a fixação do carbono ao tecido vegetal. Em batata, esse metabolismo tem início graças à ação de uma importante enzima, a rebulose-bifosfato carboxilase/oxigenase (RUBISCO), responsável pela reação inicial de fixação do CO_2 na sequência de reações químicas do ciclo de Calvin. A dupla atividade química dessa enzima é regulada pela relação da concentração dos gases CO_2 e O_2 . A concentração natural do oxigênio na atmosfera, de 21%, tem ação inibitória sobre a fixação de CO_2 e desencadeia um fenômeno fisiológico conhecido como fotorrespiração que provoca perda de carbono pela planta (Durão & Galvão, 1995).

Em condições de campo, e a longo prazo, existiria a possibilidade de incrementar a fixação de CO_2 se fossem encontradas linhas nas quais a RUBISCO tivera maior afinidade pelo CO_2 ou diminuísse sua capacidade de atuar como oxigenase ou o ritmo de degradação da RUBISCO para o final do ciclo da cultura fosse menor (Caldiz, 1994).

A eficiência fotossintética é maior no horário da manhã, entre 8:00 e 10:00 h, e também entre às 14:00 e 16:00 h, períodos nos quais ocorrem picos de absorção de CO_2 .

Pesquisas desenvolvidas nas últimas três décadas revelaram que a elevação artificial da concentração de CO_2 no microclima, criado pela massa foliar dos vegetais, elimina parcial ou totalmente o processo de fotorrespiração, evitando perda de CO_2 pela planta e incrementando assim a absorção líquida. Esse incremento na absorção de CO_2 aumenta a carboxilação da RUBISCO resultando numa maior produtividade vegetal (Durão & Galvão, 1995).

Além desse mecanismo, há evidências de que outros fatores atuam sinergicamente sobre a planta, aumentando a eficiência do processo de fertilização carbônica. Plantas sob enriquecimento atmosférico utilizam com mais

eficiência as reservas de água do tecido vegetal e perdem menor quantidade de água pelos estômatos, pois, conseguem mantê-los ligeiramente mais fechados do que em condições normais.

Também admite-se que a fertilização carbônica pode interferir positivamente no balanço hormonal da planta, na absorção de micronutrientes e na degradação de resíduos de produtos fitossanitários presentes no solo (Durão & Galvão, 1995).

O gradiente de CO_2 , entre a atmosfera e o interior da folha e a condutância estomática desta última, determinam o ritmo de difusão do CO_2 para o cloroplasto, onde se leva a cabo o processo fotossintético (Caldiz & Gaspari, 1997).

A maior concentração de CO_2 exerce um efeito positivo indireto, pois é mais eficiente a utilização da energia proveniente da cadeia transportadora de elétrons ao suprimir-se a fotorrespiração (Schapendonk et al., 1995). Porém, a longo prazo, um aumento na concentração de CO_2 poderia aumentar a demanda de nutrientes, particularmente N, e poderia modificar também o padrão e a distribuição de fotoassimilados.

Há variação entre espécies de plantas C3 em relação à fotossíntese, crescimento vegetativo, massa foliar e desenvolvimento do sistema radicular, quando desenvolvidas em ambientes enriquecidos com dióxido de carbono. Os efeitos comumente observados são a redução da concentração de nitrogênio nos tecidos das folhas devido à baixa taxa de transpiração, o aumento de carboidratos, a modificação da distribuição de proteínas e compostos nitrogenados e o aumento da massa fresca das folhas (Vessey et al., 1990).

A fotossíntese é o principal processo de fixação de carbono na natureza, levando à formação de carboidratos e produção de matéria seca. Um grupo numeroso de plantas, que inclui muitas espécies de interesse agrônômico como trigo, arroz, feijoeiro, cafeeiro, etc., apresenta metabolismo de tipo C3, assim

denominado porque o primeiro produto estável identificado na carboxilação, o ácido fosfoglicérico, possui 3 átomos de carbono na molécula, formado pela carboxilação da ribulose-1,5-bifosfato, com intervenção da enzima ribulose-1,5-bifosfato carboxilase-oxigenase (RUBISCO) que tem atuação funcional dupla, atuando nesse caso com sua ação carboxilase (Angelocci, 2000).

O CO₂ aplicado na zona radicular de plantas de batata é fixado dentro do malato, possivelmente via fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP-Case). Este CO₂ aplicado às raízes pode ser translocado até o topo da planta, onde poderia ser utilizado por ribulose-1,5-bifosfato carboxilase para suprimir a fotorrespiração. As plantas de batata são capazes de incorporar o CO₂ por PEP-Case para ingressar no ciclo de ácido carboxílico ou para a síntese de aminoácidos (Arteca & Poovaiah, 1982b; Jackson & Coleman, 1959; Clegg & Whittingham, 1972).

Imediatamente após o enriquecimento da zona radicular com CO₂ a maior parte do CO₂ translocado para o topo da planta é dissolvido na seiva do xilema, possivelmente porque as raízes não contêm suficiente atividade de PEP-Case para utilizar os níveis de carbono provido. Depois do tratamento com CO₂, existe um incremento da atividade de PEP-Case e este possivelmente aumenta a quantidade de fixação de CO₂ nas raízes. Este benefício inicial do enriquecimento de CO₂ na zona radicular poderia resultar da translocação de CO₂ para as folhas onde é utilizado por Ribulose-1,5-bifosfato carboxilase. Devido ao incremento da atividade de PEP-Case, como consequência da aplicação de CO₂, se dá um efeito aditivo entre o CO₂ dissolvido na seiva do xilema e o carbono assimilado pelas raízes que seriam em parte responsáveis pelo incremento e crescimento das plantas (Arteca et al., 1979; Arteca & Poovaiah, 1982a).

2.5 Efeitos de CO₂ no solo e na planta

Um benefício potencial da irrigação com água carbonatada está relacionado na disponibilidade de nutrientes no solo. Adicionando CO₂ na água ocorre acidificação da solução. Adicionando água carbonatada ao solo o pH pode diminuir temporariamente. Em solos com pH elevado, esta resposta leva os solos para um nível de pH desejável à disponibilidade de micronutrientes (Zn, Cu, Fe, Mn). Já em solos ácidos, esta resposta poderia causar toxidez por alumínio ou limite de disponibilidade de nutrientes essenciais da planta.

Alguns mecanismos que podem influenciar o crescimento em resposta à água carbonatada têm sido identificados. O dióxido de carbono reduz o pH da água e pode reduzir o pH do solo, resultando em um aumento de disponibilidade de alguns nutrientes. A irrigação com água carbonatada também aumenta a concentração de CO₂ no solo e no ar. Isto pode aumentar o crescimento da raiz pela redução da inibição do etileno e pode estimular a atividade de certos microorganismos benéficos (Baker, 1988). O dióxido de carbono também pode ser absorvido diretamente através das raízes das plantas e fixado na fotossíntese, embora a absorção direta provavelmente não seja a maior fonte de contribuição para o incremento da produtividade. De qualquer forma, a irrigação com água carbonatada pode aumentar o nível da fotossíntese por meio do enriquecimento atmosférico. Isto também pode influenciar no balanço hormonal e de enzimas, o que permite um aumento na produtividade. A resposta de crescimento na irrigação com água carbonatada é provavelmente devido à combinação de fatores, e isto é mais fácil de ser observado onde o pH do solo e da água de irrigação são altos (Storlie & Heckman, 1996).

Tognoni et al. (1967) observaram que o crescimento radicular de tomateiro foi estimulado pela elevação da concentração de CO₂ no solo, e combinado a

fatores como diminuição de pH do solo e como conseqüência ao incremento de absorção de nutrientes.

Nakayama & Bucks (1980), aplicando água carbonatada diretamente no solo via sistema de irrigação por gotejo enterrado, conseguiram um incremento de 20% de rendimento em trigo e o pH decresceu em 1,5 unidades em solos calcáreos utilizados no experimento.

Araújo (2002), objetivando estudar os efeitos de CO₂ dissolvido em água de irrigação, com e sem cobertura plástica do solo, conduziu um experimento a céu aberto com abobrinha em Piracicaba em dois períodos. No primeiro (maio-agosto do ano 2000) obteve um rendimento de 15.433 Kg ha⁻¹ utilizando 58,40 Kg ha⁻¹ de CO₂, associado à cobertura do solo, sendo 65% superior ao do tratamento-testemunha. No segundo (setembro-dezembro do ano 2000) obteve um rendimento de 47.098 Kg ha⁻¹ aplicando 100 Kg ha⁻¹ de CO₂ para o solo nu, frente a 41.156 Kg ha⁻¹ do tratamento-testemunha.

Hartz & Holt (1991) observaram uma diminuição de pH (de 7,3 para 5,3) na solução do solo quando enriqueceram a água de irrigação com CO₂, e esta mudança de pH foi transitória. Já Novero et al. (1991) verificaram que cinco dias depois de iniciado a aplicação de água carbonatada o pH reduziu e houve um incremento aparente de P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu, e B.

O tratamento com CO₂ na zona radicular afeta seletivamente a absorção dos minerais pelas plantas. Incrementa a concentração de Ca²⁺ e Mg²⁺ e diminui a concentração de Mn²⁺ e Cl⁻, enquanto que a concentração de K⁺ não é alterada (Arteca et al., 1979).

Furlan et al. (2001) avaliaram os efeitos da aplicação de CO₂ via água de irrigação na produtividade e qualidade de alface cultivada em ambiente protegido, aplicando 50 L m⁻² dia⁻¹ de CO₂ durante 30 dias. Conseguiram aumento de área foliar e peso de matéria seca de 27%, e o rendimento de cabeças aumentou em até 28,8%.

O resultado do incremento no rendimento é consequência dos efeitos combinados do limitado enriquecimento atmosférico de CO_2 e as modificações do ambiente do solo em função à disponibilidade de nutrientes (Novero et al., 1991).

Para muitas espécies é difícil estabelecer concentrações ótimas de CO_2 , pela escassez de dados na literatura (Furlan et al., 2001).

Com o propósito de explicar o efeito de incremento da concentração de CO_2 atmosférico no rendimento das culturas, Kimball, (1983) realizou mais de 430 observações em diferentes culturas, sendo que 37 espécies apresentaram um aumento na produção com o enriquecimento de CO_2 , tendo destaque o algodão que apresentou a maior média. Concluiu-se que o algodão é uma das culturas que melhor responde ao enriquecimento de CO_2 . Com base nesta informação Mauney & Hendrix (1988) conduziram um ensaio com algodão aplicando água carbonatada sobre a cultura em ambiente protegido. Foi observado um incremento no crescimento das plantas, nível de fotossíntese e absorção de Zn e Mn, e concluíram que a resposta do incremento foi o resultado indireto do aumento de absorção de nutrientes devido à mudança de pH produzido pela aplicação de água carbonatada.

A fixação de dióxido de carbono por raízes de plantas foi reportada pela primeira vez em cevada e foi proposto que o CO_2 fixado nas raízes poderia ser translocado pelas folhas. A fixação de carbono também tem sido reportada em cebola e soja (Arteca & Poovaiah, 1982a). Nos anos 80 foi estabelecido que as raízes de soja e os nódulos possuem um sistema ativo para fixação de CO_2 (Coker & Schubert, 1981).

Segundo Mortensen (1987), a concentração ótima de CO_2 para o crescimento da maioria das espécies varia entre 600 e 900 $\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ de ar, observando-se injúrias acima de 1.000 $\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ de ar.

Arteca et al. (1979), procurando resposta das plantas à aplicação de CO₂, trabalharam com planta de batata (*Solanum tuberosum* L. var. Russet Burbank) e aplicaram CO₂ ao sistema radicular durante 12 horas. Após dois dias da aplicação verificaram que as plantas apresentaram um incremento de matéria seca, enquanto que 3 - 6 semanas após aplicação, apresentaram aumento na tuberação. Além disso, houve aumento no comprimento de estolão, número de tubérculos por estolão e peso seco total. Comprovaram também que plantas tratadas com CO₂ aumentam a concentração dos ácidos málico e cítrico, assim, como os cátions Mg⁺² e Ca⁺², tendo o sistema radicular respondido melhor à aplicação de CO₂ que a parte aérea.

O tomate é uma das poucas espécies que apresenta um decréscimo de resposta à aplicação suplementar de CO₂ sob enriquecimento contínuo e por longo tempo (Novero et al., 1991).

Hartz & Holt (1991), conduziram experimentos em Irvine (Califórnia) com objetivo de determinar os efeitos do enriquecimento de CO₂ via água de irrigação sobre tomate e pepino. Utilizaram as doses de 0; 0,5; e 1,0 g L⁻¹ de CO₂ e observaram que os rendimentos decresceram linearmente com o aumento da doses de CO₂. Os decrementos de rendimento foram relacionados ao uso de mulch de plástico que aumentou a concentração de CO₂ na atmosfera do solo, o que pode ter um efeito tóxico.

Cramer et al. (2001), na África do Sul, elevando a concentração de carbono inorgânico dissolvido, buscavam incrementos de rendimento e qualidade de tomate. Com 5000 ppm de CO₂ conseguiram um incremento de 7% em média do peso de frutos comerciais, mas não houve um efeito significativo no rendimento e qualidade com respeito ao controle.

Donnelly et al. (2001c) estudaram os efeitos de incremento de CO₂ e O₃ na qualidade de tubérculos de batata cv. Bintje. Utilizaram concentrações de 550 e 680 μmol mol⁻¹ de CO₂, mais a concentração de CO₂ atmosférico (370 μmol mol⁻¹

¹). Concluíram que com o incremento de CO₂ houve um aumento no conteúdo de amido e na viscosidade. No entanto, houve diminuição do conteúdo de glicoalcaloide, ácido cítrico e nitrogênio nos tubérculos.

Field et al. (1992) reportaram que elevando a concentração de CO₂ houve incrementos tanto de biomassa como de reservas de carboidratos, enquanto que diminuiu a concentração de nitrogênio nos tecidos.

A liberação direta de CO₂ em busca do enriquecimento atmosférico não é benéfica sob condições de campo (Novero et al., 1991).

A campo aberto, o uso de cobertura sobre as linhas de gotejamento poderia incrementar o potencial do enriquecimento de CO₂, quando é aplicada água carbonatada pelo sistema (Moore, 1990).

Em estudos realizados por Baron & Gorski (1986) com berinjela, foi encontrado um incremento significativo na área foliar e na matéria seca quando estas foram cultivadas em condições de dias longos, temperatura alta e com 0,03% de CO₂. Sob condições de dias curtos e baixo nível de luz, com 15% de CO₂, houve redução na área foliar e na matéria seca.

Diferentes espécies de plantas reagem de forma distinta em ambientes com alta concentração de dióxido de carbono. O crescimento da raiz de *Pisum sativum*, *Vicia faba*, *Phaseolus vulgaris* e *Helianthus annum* foram completamente inibidos pela alta concentração de CO₂, ao passo que *Avena sativa* e *Hordeum vulgare* não foram afetados. Plantas de *Solanum tuberosum* particularmente são bem adaptadas ao enriquecimento de CO₂ na zona da raiz devido à habilidade para tolerar altas concentrações de CO₂ (Stolwijk & Thimann, 1957; Arteca et al., 1979).

A concentração atual de CO₂ apresenta-se limitante para a fotossíntese em espécies C3 como a batata, que a 700 ppm de CO₂ poderia aumentar o rendimento em 20-30%, dependendo do ciclo das variedades, tal como tem demonstrado Schapendonk et al. (1995), mediante a utilização de modelos de

simulação. De qualquer forma, como a batata é uma cultura que é cultivada ao ar livre, este efeito benéfico só poderia ser registrado em caso de que a concentração de CO₂ na atmosfera alcançasse ditos níveis no futuro, ou se for cultivada em casas de vegetação com atmosfera enriquecida com CO₂.

A sensibilidade das trocas de CO₂ à deficiência hídrica é uma característica da espécie, sendo porém adaptável. Esta sensibilidade depende ainda da idade da planta, da posição de ramos e folhas na copa da árvore e da umidade do solo (Larcher, 1995).

As plantas submetidas a estresse hídrico freqüente respondem melhor às maiores concentrações de dióxido de carbono (Ham et al., 1995). O aumento da concentração de dióxido de carbono causa fechamento parcial dos estômatos, implicando em redução na transpiração (Cure & Acock, 1986; Faquhar et al., 1978). Assim há aumento da taxa de crescimento, com produção de maior quantidade de matéria vegetativa e aumento na área foliar (Morisom & Gifford, 1984). Mesmo em condições de luminosidade inadequada e deficiência hídrica, a taxa de crescimento das plantas é aumentada em ambientes com alta concentração de dióxido de carbono, que ocorre devido ao fechamento dos estômatos e maior expansão do sistema radicular, possibilitando a exploração de um maior volume de solo (Curtis et al., 1990).

2.6 Dióxido de carbono e efeitos evolutivos

O enriquecimento de CO₂ atmosférico altera a quantidade e qualidade da produção das plantas, mas os efeitos fisiológicos e sua variação genotípica são pouco conhecidos (Lindroth et al., 2001).

Durante a última década, vêm causando impacto pesquisas com enriquecimento de CO₂ atmosférico em plantas, elevando-se em forma exponencial, de modo que os trabalhos foram realizados com ênfase na avaliação

dos efeitos de CO₂ nos extremos da continuidade ecológica. A nível fisiológico, as pesquisas foram focalizadas no processo metabólico e no crescimento das plantas individuais; no nível de ecossistema, as pesquisas enfatizaram o ciclo de carbono e a captura do mesmo (Lindroth et al., 2001). Este é particularmente uma legítima resposta evolutiva das plantas ao incremento de CO₂ (Ward & Strain, 1999). Efeitos evolutivos podem ser determinados pela variação genética numa população, e pela resposta de aptidão relacionado aos traços da mudança do meio ambiente. Podem surgir diretamente mudanças na estrutura genética das populações, devido aos diferentes efeitos de CO₂ na produtividade das plantas. O enriquecimento de CO₂ tende a aumentar a produção e o crescimento das plantas (Kimball, 1983; Saxe et al., 1998), embora seja pouco conhecida a variação intra-específica com semelhante resposta. Alternativamente, mudanças na estrutura genética podem surgir indiretamente, devido ao efeito diferencial do CO₂ no aproveitamento ou na interação competitiva (Bazzaz et al., 1995).

Os efeitos da evolução poderiam ser determinados pela magnitude da variação genética em uma população, e pela resposta da aptidão relacionado às características de mudança do meio ambiente (Lindroth et al., 2001).

O enriquecimento de CO₂ pode alterar a capacidade defensiva (Peñuelas & Estiarte, 1998) ou competitiva (Potvin & Vasseur, 1997) das plantas. Porém existe pouca informação de respostas com respeito ao potencial da variação intra-específica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido em três etapas, sendo uma preliminar em casa de vegetação e duas em condições de campo.

3.1 Estudo preliminar

3.1.1 Ponto de saturação de luz e ponto de compensação de CO₂

Foi realizado um estudo do ponto de saturação de luz e do ponto de compensação de CO₂ para a determinação das doses dos tratamentos de CO₂, utilizando-se plantas de batata 'Itararé', cultivadas em casa de vegetação e, com o auxílio de um aparelho medidor de CO₂ denominado IRGA (Infra Red Gas Analyzer) modelo LI-6400 fabricado pela LI-COR, Nebraska/USA.

3.1.2 Princípio de funcionamento do aparelho IRGA

É um sistema portátil que permite, por meio de medidas das trocas gasosas, quantificar a taxa de consumo de CO₂ de um tecido foliar. O aparelho é composto de um console e de uma câmara ventilada de 6 cm², onde é colocada a folha a ser analisada. O console está composto por uma bomba de sucção, reservatório de ar, válvula de ajuste, medidor de fluxo de massa de ar, controlador interno de fluxo e um microprocessador, que possui a função de processar e armazenar dados. Na câmara ventilada está o ventilador, o sensor de CO₂ e de umidade, um termopar de referência e outro que entra em contato com a face inferior da folha (Long & Hallgren, 1993), (Figura 1).

O aparelho funciona com uma fonte que emite ondas de comprimento no infravermelho através de uma célula de análise, onde simultaneamente é transportado o gás proveniente da amostra em estudo, e paralelamente existe uma outra célula chamada de referência que permanece transportando moléculas de CO₂ com concentração conhecida. As moléculas de CO₂ absorvem ondas de luz infravermelho e, um detector, em posição oposta à fonte de emissão, compara a quantidade de radiação que passa por cada célula, registrando a diferença. A taxa de assimilação de CO₂ é expressa como a quantidade de CO₂ assimilado ou liberado por unidade de área foliar e tempo, cuja unidade é $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Peet & Krizek⁵(1997) citado por Gomes, 2001).

Figura 1 – Esquema do princípio de funcionamento do IRGA

3.1.3 Experimento preliminar

Em dois de março de 2001 foram plantadas batatas-semente do cultivar Itararé em 10 vasos de plástico de 10 L de volume, colocando uma batata por vaso. Após o início do florescimento (47 dias após plantio) selecionou-se o folíolo final da quarta folha desenvolvida e começaram-se a realizar as leituras no

⁵ PET, MM.; KRIZER, D.T. Carbon dioxide. In: LANGHANS, R.W.; TIBBITTS, T.W. **Plant growth chamber handbook**. Ames: Iowa State University, 1997. cap.4, p.65-79.

aparelho IRGA em 10 repetições de folhas e plantas diferentes para a elaboração das curvas de saturação lumínica e de compensação de CO₂, (Figuras 2 e 3).

O primeiro a ser determinado foi o ponto de saturação de luz. Para este, foram programados, no aparelho, os valores de DFFFA (Densidade de Fluxo de Fótons Fotossinteticamente Ativos) correspondentes a 40, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, e 1600 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Para cada valor indicado foi realizada a leitura dos valores de “A” (assimilação de CO₂), sendo os mesmos calculados automaticamente pelo aparelho medidor, para os respectivos valores de fotossíntese, cuja unidade é $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Figura 2 – Plantas de batata ‘Itataré’ cultivadas em casa de vegetação

Figura 3 – Aparelho IRGA no momento da medição da taxa de assimilação de CO₂

Programando-se o aparelho com o valor fixo de ponto de saturação lumínica encontrado, procedeu-se a determinação da curva de compensação de CO₂. Para isto, utilizaram-se os valores de concentração de CO₂ de 50, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400 e 1600 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (ppm de CO₂).

3.2 Caracterização da área experimental a campo

Foram conduzidos dois experimentos (Experimento I e Experimento II), um no período de 19 de julho a 31 de outubro de 2001, e outro de 25 de maio a 18 de setembro de 2002 na fazenda Areão, no campo experimental pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, localizado no município de Piracicaba-SP, com altitude média de 576 m, latitude de 22°42'30"S e longitude 47°30'00"W. Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima da região é do tipo CWA:

subtropical úmido, com chuvas de verão, inverno seco, temperatura média 21,1°C. A precipitação média anual é de 1247mm, a umidade relativa do ar é de 74%, a velocidade média do vento é de 2,2 m s⁻¹, com direção predominante E/SE (Ometto,1981). O solo é classificado como Terra Roxa Estruturada (Alfisol), série Luiz de Queiroz, apresentando declividade média de 5%.

3.3 Experimento I

3.3.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 20 parcelas, ou seja, 5 tratamentos (T1=0; T2=205,2; T3=279,36; T4=353,52; T5=427,68 kg ha⁻¹ de CO₂,respectivamente) e 4 repetições.

A área foi dividida em 20 parcelas, com dimensões de 3,20 m de largura e 5,00 m de comprimento cada parcela, totalizando 320 m², como mostrada na Figura 4.

O delineamento experimental para análise da variância das variáveis de número de folhas, número de estolões, área foliar, índice de área foliar, número de tubérculos, massa seca da parte aérea, massa seca de raízes, massa seca de tubérculos e relação parte aérea/raízes, foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas no tempo (*split plot*), com quatro repetições. As parcelas constaram as doses de CO₂ e as subparcelas, as amostragens realizadas ao longo do experimento, em total de 5.

Figura 4 – Esquema do experimento I, mostrando a distribuição dos tratamentos (T1=0; T2=205,2; T3=279,36; T4=353,52; T5=427,68 kg ha⁻¹ de CO₂)

O delineamento experimental para análise da variância das variáveis de produção total e classificação da produção, foi blocos ao acaso com quatro repetições, sendo que os blocos constaram das doses de CO₂.

3.3.2 Caracterização Física e Química do Solo

Com a finalidade de se efetuar a adubação, realizou-se uma amostragem de solo à profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm, para a análise físico-química, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1. Análise granulométrica do solo do primeiro experimento. Piracicaba, SP. 2001

Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe de Textura
0-20	14	33	53	argiloso
20-40	16	17	67	argiloso

Tabela 2. Análise química do solo do primeiro experimento. Piracicaba, SP. 2001

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	S mg dm ⁻³	K mmolc dm ⁻³	Ca mmolc dm ⁻³	Mg mmolc dm ⁻³	Al mmolc dm ⁻³	H+Al	SB	T	V (%)
0-20	4,6	33	14	67	2,2	34	16	1	31	52,2	83,2	63
20-40	5,2	21	5	99	0,7	23	9	0	25	32,7	57,7	57

Tabela 3. Análise de micronutrientes do solo do primeiro experimento. Piracicaba, SP. 2001

Profundidade (cm)	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg dm ⁻³				
0-20	0,37	7,4	28	86,0	5,7
20-40	0,40	3,1	10	15,8	1,2

3.3.3 Preparo do solo e plantio

O preparo do solo consistiu em duas arações e uma gradagem com antecedência de um mês do plantio, seguido de uma gradagem na época do plantio. Anteriormente à aração, efetuou-se uma correção prévia com gesso agrícola na dosagem de 1 t ha⁻¹ por recomendação do laboratório de análise do Departamento de solos e Nutrição de Plantas.

Por ocasião do plantio, foi distribuído adubo no fundo do sulco baseando-se na análise do solo. A quantidade de adubo aplicado foi de 600 Kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, com adubo de formulação comercial 10 - 20 - 20, e com 1,6 kg ha⁻¹ de Boro. Em seguida o adubo foi misturado ao solo a fim de evitar o contato direto com a batata-semente.

O plantio foi realizado em dezenove de julho de 2001, colocando-se os tubérculos certificados de batata-semente, fornecidos pelo Departamento de Raízes e Tubérculos do IAC (Instituto Agronômico de Campinas), com massa média de 50 g, em sulcos espaçados de 80 cm e com 15 cm de profundidade. Depois distribuídos a cada 40 cm nos sulcos, os tubérculos foram cobertos com solo úmido.

3.3.4 Manejo de irrigação e aplicação de CO₂

O suprimento de água para o sistema de irrigação foi composto por duas caixas de fibra de vidro com capacidade de 1000 L cada, conectadas entre si, e o nível da água regulado por um bóia, e uma motobomba KSB HIDROBLOC C 500 de 0,5 HP de potência, com vazão máxima de $7,8\text{m}^3\text{ h}^{-1}$ e altura manométrica máxima de recalque de 70 kPa (Figura 5). Conectada à motobomba foi instalada uma tubulação de PVC rígido de 20 mm, a esta colocou-se um filtro de tela de 120 Mesh, seguido de um registro esférico e um hidrômetro, para o monitoramento do volume de água aplicado. Em seguida, conectou-se ao hidrômetro uma tubulação de PVC rígido de 20 mm, sendo a mesma prolongada até a cabeceira da área experimental. Antes do sistema de cabeçal colocaram-se uma válvula reguladora de pressão e um manômetro (Figura 6).

A partir do cabeçal, a água foi conduzida até as parcelas através de tubulações de polietileno flexível preto de 20 mm de diâmetro. Na entrada de cada parcela a tubulação de 20 mm foi conectada a uma tubulação de PVC rígido de 32 mm de diâmetro, perfurada lateralmente a cada 0,80 m para a colocação de um anel vedante e um conector inicial de rosca. A este conectou-se os tubogotejadores Queen gil com as seguintes características: diâmetro interno de 16,5 mm, espessura da parede de 0,2 mm, pressão recomendada de 50 a 70

kPa, e a vazão nominal de $4 \text{ L m}^{-1} \text{ h}^{-1}$, com espaçamento entre os gotejadores de 0,1 m. Os tubogotejadores foram colocados na superfície de cada sulco.

Figura 5 – Reservatórios de água (A e B) e motobomba (C)

Figura 6 – Sistema de cabeça, mostrando os quatro cilindros contendo CO_2 (A,B,C e D) e injetor de CO_2 (E)

As irrigações foram feitas diariamente pela manhã entre 9 e 11 horas. A lâmina inicial de irrigação foi calculada pela capacidade máxima de armazenamento de água no solo, com o auxílio da Tabela 4.

Tabela 4. Potencial matricial e umidade volumétrica do solo observados e ajustados pela curva de retenção para as profundidades de 10 e 30 cm

Potencial Matricial (kPa)	Umidade (10 cm) (cm ³ cm ⁻³)		Umidade (30 cm) (cm ³ cm ⁻³)	
	Observada	Ajustada	Observada	Ajustada
0	0,5410	0,5420	0,5420	0,5253
1	0,4583	0,4538	0,4865	0,4840
2	0,4143	0,4213	0,4613	0,4567
4	0,4032	0,3972	0,4530	0,4489
10	0,3671	0,3692	0,4259	0,4260
30	0,3426	0,3430	0,4009	0,4012
50	0,3344	0,3330	0,3882	0,3908
100	0,3230	0,3213	0,3788	0,3781
500	0,3018	0,3008	0,3543	0,3536
1500	0,2911	0,2909	0,3401	0,3403

Fonte: Ramos (1998)

Para o manejo da irrigação utilizou-se a Equação 1, substituindo-se na mesma as seguintes características do solo: umidade de capacidade de campo com base em volume de 0,3671 cm³ cm⁻³, umidade de ponto de murcha permanente com base em volume de 0,2911 cm³ cm⁻³, obtidas da Tabela 4 elaborado por Ramos (1998); fator f da cultura de 0,4 e; profundidade efetiva de raízes de 20 cm; resultando na disponibilidade real de água de 6,168 mm.

$$DRA = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) f z \quad (1)$$

em que:

- DRA - Disponibilidade real de água, mm;
- θ_{cc} - Umidade à capacidade de campo com base em volume, cm³ cm⁻³;
- θ_{pmp} - Umidade no ponto de murcha permanente com base em volume, cm³ cm⁻³;
- f - Fator da cultura, adimensional; e
- z - Profundidade efetiva do sistema radicular, cm.

Para determinação de evapotranspiração da cultura (ET_c) (Equação 2), utilizaram-se os valores de K_c, citados por Doorenbos & Kassam (1979) para

batata que variaram de 0,45 a 1,10 para um ciclo de 110 dias e, a constante Kp de tanque classe A igual a 0,75, descrito por Doorenbos & Pruitt (1977)

A evaporação do tanque classe A foi corrigida pelos coeficientes de cultivo descritos por Doorenbos & Kassam (1979) e pelo coeficiente do tanque classe A (Kp= 0,75) para a obtenção da evapotranspiração da cultura.

$$ET_c = ECA K_p K_c \quad (2)$$

em que:

- ET_c - Evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹;
- ECA - Evaporação do tanque classe A, mm dia⁻¹;
- K_p - Coeficiente do tanque classe A, adimensional; e
- K_c - Coeficiente da cultura, adimensional.

A irrigação foi baseada na lâmina evaporada no tanque classe A, sendo a umidade do solo monitorada por três baterias de três tensiômetros posicionados, o primeiro a 10 cm de distância da planta e os demais espaçados de 5 cm entre si (Figura 7). As profundidades instaladas dos mesmos foram de 7,5; 22,5; e 37,5 cm, respectivamente.

Foram realizadas as leituras dos tensiômetros diariamente, a fim de manter a tensão do solo inferior a 50 kPa. Durante a primeira fase (do plantio a emergência) foram monitoradas com os tensiômetros a 7,5 cm de profundidade; a partir do final da primeira fase até a colheita foram monitoradas com os tensiômetros as profundidades de 22,5 cm. Os tensiômetros localizados a profundidade de 37,5 cm foram utilizados para controlar possível aplicação excessiva da água ou eventual contribuição do lençol freático.

Figura 7 – Bateria de tensiômetros instalados a 7,5; 22,5; e 37,5 cm de profundidade, respectivamente

O tempo de irrigação correspondente à evapotranspiração da cultura foi determinado pela Equação 3.

$$TI = \frac{60 ET_c A}{Q} \quad (3)$$

em que:

- TI - Tempo de irrigação, min;
- A - Área da parcela, m²; e
- Q - Vazão derivada à parcela, L h⁻¹.

O sistema de aplicação de CO₂ funcionou simultaneamente ao sistema de irrigação e foi composto de 4 cilindros de dióxido de carbono de alta pressão com 15,1 L de capacidade, equipados com válvulas para quantificar a dosagem de CO₂ a ser liberada dos cilindros, conectores de cobre, manômetros e injetores para introduzir o CO₂ na água de irrigação. Como a pressão de injeção de CO₂

do cilindro foi de 50 kPa e superior à do sistema de irrigação no ponto de injeção (40 kPa), por diferença de pressão o CO₂ ingressou nas linhas de irrigação chegando às parcelas que receberam o respectivo tratamento.

A aplicação da mistura água-CO₂ foi realizada a partir do sétimo dia após a emergência - DAE (13/08/01) e a cada vez que era realizada a irrigação.

As concentrações de CO₂ foram definidas com base no ponto de saturação de CO₂ para a batateira determinada na primeira fase, e foram: T1=0; T2=205,20; T3=279,36; T4=353,52; T5=427,68 Kg ha⁻¹ de CO₂, respectivamente.

O tempo de aplicação foi de 20 minutos para cada tratamento. A calibração de cada cilindro foi realizada baseado no tempo de preenchimento do CO₂ (Tabela 5) em uma proveta de vidro com capacidade de 100 mL, a qual se encontrava submergida em um balde com água.

Tabela 5. Tempo calculado para calibração de cada tratamento de CO₂

Tratamento	ΔCO_2 (ppm)	Volume a aplicar (cm ³ CO ₂ canteiro ⁻¹ dia ⁻¹)	Peso a aplicar (g CO ₂ dia ⁻¹)	Vazão de CO ₂ em 4 canteiros (L min ⁻¹)	Tempo para preencher a proveta de 100mL (s)
T1	0	0	0	0	0
T2	210	1680	3,3	0,336	17,9
T3	420	3360	6,6	0,672	8,93
T4	630	5040	9,9	1,008	5,95
T5	840	6720	13,2	1,344	4,46

3.3.5 Uniformidade de irrigação

Para a avaliação de uniformidade foi utilizado o método proposto por Keller e Karmeli (1975), que recomendam a obtenção das vazões em quatro pontos ao longo da linha lateral, ou seja, o gotejador que se encontra, no início, a 1/3, a 2/3 e no final do comprimento da linha lateral. Para essa avaliação utilizaram-se as Equações 4 e 5 indicadas por Parra (2001).

$$U=100(1-CV) \quad (4)$$

em que:

- U - Coeficiente de uniformidade de descarga, %.
- CV - Coeficiente de variação estatístico das descargas dos emissores, adimensional.

$$CV = \left(\frac{s}{\bar{X}} \right) \quad (5)$$

em que:

- s - Desvio padrão das descargas dos emissores, $L h^{-1}$; e
- $\bar{X}$ - Média das descargas dos emissores, $L h^{-1}$.

3.3.6 Parâmetros avaliados

Efetuarão-se cinco avaliações durante o experimento, extraindo-se duas plantas laterais de cada parcela, em períodos de 14 dias, iniciando-se em vinte de agosto de 2001 aos 14 dias após emergência (DAE), correspondente aos 7 dias após início de aplicação de CO_2 . As medições realizadas foram: número de folhas, área foliar, número de estolões, número de tubérculos e massa seca da parte aérea, raízes e tubérculos.

O número de folhas foi determinado por contagem em laboratório. A área foliar (cm^2) das folhas retiradas, foi medida utilizando-se o analisador LI-3100 (LI-COR, Lincoln, Nebraska). A massa seca foi obtida pela desidratação de todos os órgãos da planta (parte aérea, raízes, tubérculos) até peso constante, em estufa à temperatura de $60^\circ C$, sob ventilação forçada.

Após a determinação dos parâmetros de crescimento, procedeu-se às análises de variância dos mesmos, de acordo com as recomendações de Buttery & Buzzell (1972).

Outros parâmetros de crescimento analisados foram a relação parte aérea/sistema radicular (RPAR), índice de área foliar (IAF), razão de área foliar (RAF), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de produção de matéria seca (TPMS) e índice de colheita (IC%). Tais parâmetros foram obtidos utilizando-se as Equações 6 a 11.

A Equação 6 permite o estudo comparativo do desenvolvimento da parte aérea em relação ao desenvolvimento do sistema radicular.

$$RPAR = \frac{PSA}{PSR} \quad (6)$$

em que:

- RPAR - Relação parte aérea/sistema radicular, adimensional;
- PSA - Massa de matéria seca da parte aérea da planta, g; e
- PSR - Massa de matéria seca do sistema radicular da planta, g.

O índice calculado pela Equação 7 avalia a velocidade com que a área foliar ocupa a área do solo disponível à planta.

$$IAF = \frac{AF}{S} \quad (7)$$

em que:

- IAF - Índice de área foliar, adimensional;
- AF - Área foliar, dm²; e
- S - Área do solo disponível à planta, dm².

A RAF, calculada pela Equação 8, permite avaliar o desenvolvimento da área foliar em relação ao desenvolvimento da planta como um todo, em termos de matéria seca produzida em cada amostragem.

$$RAF = \frac{AF}{PS} \quad (8)$$

em que:

- RAF - Razão de área foliar, dm² g⁻¹; e

PS - Massa da matéria seca total, g.

A TCR, calculada pela Equação 9, avalia o crescimento da planta em termos de matéria seca formada por unidade de tempo, em função da massa inicial.

$$TCR = \frac{P2 - P1}{t2 - t1} \quad (9)$$

em que:

- TCR - Taxa de crescimento relativo, g g⁻¹ dia⁻¹;
- P2 - Massa de matéria seca total da planta colhida na segunda amostragem, g;
- P1 - Massa de matéria seca total da planta colhida na primeira amostragem, g; e
- t2 e t1 - Número dias da segunda e primeira amostragem, respectivamente.

A TPMS, também denominada fotossíntese líquida, calculada pela Equação 10, avalia o desenvolvimento da planta relacionando a quantidade de material orgânico acumulado, em função da área de solo ocupada pela planta, por unidade de tempo.

$$TPMS = \frac{P2 - P1}{S(t2 - t1)} \quad (10)$$

em que:

- TPMS - Taxa de produção de matéria seca, g m⁻² dia⁻¹.

O IC, calculado pela Equação 11, avalia o desenvolvimento dos tubérculos em relação ao desenvolvimento total da planta, relacionando portanto fonte/dreno.

$$IC = \frac{PE}{PBT} 100 \quad (11)$$

em que:

- IC - Índice de colheita, %;
- PE - Produtividade econômica, t ha⁻¹; e
- PBT - Produtividade biológica total, t ha⁻¹.

3.3.7 Amostragem de parte aérea, raízes e tubérculos

Pela ocasião da colheita (31/10/01), foi realizada a amostragem da parte aérea das plantas, coletando-se 10 plantas ao acaso (parte aérea total) das linhas centrais de cada tratamento e enviando-as para a análise. De igual forma foi realizada a amostragem das raízes.

Depois da colheita os tubérculos foram lavados e secos à sombra. Juntaram-se os tubérculos das quatro parcelas de cada tratamento, das quais foi realizada uma amostragem de 10 tubérculos ao acaso, para análise de macro e micronutrientes.

3.3.8 Produtividade total de tubérculos

Avaliou-se a produtividade pela colheita de todos os tubérculos contidos nas linhas centrais de cada parcela (área útil), 10 dias após do corte da irrigação e eliminação total da parte aérea das plantas. Os tubérculos colhidos foram colocados em sacos identificados e conduzidos até o galpão, onde os mesmos foram escovados para a retirada do excesso de solo aderido, em seguida transportados para o laboratório. Seguiu-se a pesagem total dos tubérculos de cada parcela experimental. Pela proporção entre a massa total e a área útil da parcela experimental, obteve-se a produtividade total.

3.3.9 Produtividade comercial de tubérculos

Com a produtividade total de cada parcela experimental, realizou-se a classificação dos tubérculos pelo diâmetro transversal, dividindo-os em quatro classes: especial ou “grauda” (com diâmetro maior que 45 mm), primeira (com diâmetro entre 33 e 45 mm), segunda (com diâmetro entre 23 e 33 mm), e miudinha (tubérculos com diâmetro entre 20 e 23 mm). Os tubérculos com diâmetro menor que 20 mm foram considerados como descarte, assim como aqueles que apresentavam ataque por *Fusarium* sp e *Erwinia* sp.

Pela proporção entre a massa total das classes especial, primeira, segunda e miudinha, e a área útil da parcela experimental, obteve-se a produtividade comercial.

3.3.10 Teor de sólidos solúveis totais

Foram escolhidos ao acaso 10 tubérculos de cada tratamento, os quais foram lavados, secos à sombra e levados ao laboratório para análise do teor de sólidos solúveis totais. Para isto, os tubérculos foram cortados transversalmente, obtendo-se gotas de suco celular da batata. Foram colocadas duas gotas sobre o prisma de um refratômetro digital, modelo PR-101 (0-45%) realizando-se as leituras em °Brix, e corrigidas para 20°C.

3.4 Experimento II

3.4.1 Características gerais

Após analisados os resultados do Experimento I, e constatando-se a ausência de significância nas diferenças entre as dosagens de CO₂ para o

cultivar Itararé, optou-se por testar um menor número de dosagens, a fim de se verificar a resposta em outras variedades de batata.

O preparo do solo foi realizado um mês antes de ser instalado o experimento, efetuando-se duas arações seguidas de duas gradagens, para em parte poder homogeneizar o solo e reduzir o efeito da aplicação das diferentes dosagens de CO₂ correspondentes ao primeiro experimento.

Terminada a preparação do solo, foi realizada uma amostragem composta a 20 e 40 cm de profundidade do solo, sendo as amostras enviadas ao laboratório para a análise de macro e micro nutrientes.

Seguindo a recomendação de adubação baseada nos resultados de análise de solo (Tabela 6a, 6b, e 7) e o requerimento nutricional das cultivares de batata, foram aplicados no plantio, no fundo do sulco, 2000 kg ha⁻¹ de Yoorin master 1 s (17% P₂O₅; 6% S; 0,1% B; 0,55% Zn), 150 kg ha⁻¹ de uréia, e 80 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

Tabela 6a. Análise química do solo do experimento II. Piracicaba, SP. 2002

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	MO (g dm ⁻³)	P	S
			(mg dm ⁻³)	
0-20	5,28	31,8	22,8	94,4
20-40	5,12	20,0	5,6	110,6

Tabela 6b. Análise química do solo do experimento II. Piracicaba, SP. 2002

Prof. (cm)	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V (%)
	(mmolc dm ⁻³)							
0-20	4,3	56,4	16,6	0,0	35,8	77,3	113,1	67,8
20-40	1,3	28,6	10,6	0,0	34,0	40,5	74,5	54,2

Tabela 7. Análise de micronutrientes do solo do experimento II. Piracicaba, SP. 2002

Profundidade (cm)	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg dm ⁻³				
0-20	0,78	8,06	36,0	85,88	3,12
20-40	0,23	4,26	20,8	27,16	0,88

Aplicou-se no sulco, anteriormente ao plantio, inseticida ALDICARB na dose de 30 kg ha^{-1} , junto ao fertilizante.

3.4.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com 9 tratamentos e arranjo em fatorial de 3×3 , ou seja o primeiro fator 'cultivares de batata' com 3 níveis ('Atlantic', 'Jatte-Bintje', 'Monalisa') e o segundo fator 'doses de CO_2 ' com 3 níveis (0; 145,36; e 290,72 kg ha^{-1} , respectivamente) e 4 repetições.

A área foi dividida em 36 parcelas, com dimensões de 3,20 m de largura e 5,00 m de comprimento cada parcela, totalizando 576 m^2 (Figura 8).

A análise da variância das variáveis de número de folhas, número de estolões, área foliar, número de tubérculos, massa seca da parte aérea, massa seca de raízes e, massa seca de tubérculos, das cultivares Atlantic, Jatte-Bintje e, Monalisa, foi realizada pelo análise de regressão múltipla utilizando o Software estatístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

O delineamento experimental para análise da variância das variáveis de pH no solo, produção total, classificação da produção, pH da polpa, acidez titulável, firmeza, teor de sólidos solúveis totais, coloração da polpa, teor de matéria seca, açúcares redutores e amido, foi o de blocos ao acaso com quatro repetições.

Figura 8 – Esquema do experimento II, mostrando a distribuição dos tratamentos (V1='Atlantic'; V2='Jatte-Bintje'; V3='Monalisa'; T1= 0; T2=145,36; T3=290,72 Kg ha⁻¹ de CO₂)

3.4.3 Sistema de irrigação

A instalação do sistema de irrigação foi semelhante ao experimento I, variando somente no espaçamento entre os gotejadores de 0,1 m para 0,3 m nos tubogotejadores Queen Gil, mantendo-se as características diâmetro interno de 16,5 mm, espessura da parede de 0,2 mm, pressão recomendada de 50 a 70 kPa e vazão nominal de $4 \text{ L m}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

3.4.4 Plantio e condução da cultura

O plantio foi realizado manualmente em 25 de maio de 2002 no espaçamento de 0,8 m entre linhas por 0,4 m entre tubérculos-semente e a uma profundidade de 0,15 m. Posteriormente os mesmos foram cobertos com solo úmido. Nesta ocasião, foram utilizados os tubérculos-semente dos cultivares, Atlantic, Jatte-Bintje, e Monalisa, fornecidos pela Associação de Bataticultores Sudoeste Paulista (ABASP) com sede em Itapetininga, SP.

Aos 30 dias após plantio (DAP) por ocasião à primeira amontoa, aplicaram-se 140 kg ha^{-1} de uréia, e 80 kg ha^{-1} de cloreto de potássio.

O controle fitossanitário foi realizado de forma preventiva, segundo as variações climáticas (temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar e umidade relativa do ar) e as observações a campo, utilizando-se produtos recomendados para a cultura de batata.

O manejo de irrigação foi feito de forma semelhante àdo Experimento I.

3.4.5 Aplicação e manejo de CO_2

Para este experimento foram utilizadas as doses de CO_2 de 0, 145,36 e $290,72 \text{ Kg ha}^{-1}$, respectivamente. Estas doses de dióxido de carbono foram

baseadas na concentração média do CO_2 na atmosfera que é de 367ppm ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$).

O sistema de aplicação de CO_2 foi composto por dois cilindros de alta pressão com 15,1 L de capacidade, equipado com válvula reguladora de pressão, manômetro, fluxômetro para controlar a vazão do gás, e um injetor tipo venturi para introduzir o CO_2 na água de irrigação.

Optou-se pelo uso de fluxômetros ao invés de válvulas reguladoras de vazão, utilizadas no Experimento I, para um melhor controle do volume de gás aplicado. Este melhor controle é caracterizado pela presença de uma escala correspondente a vazão aplicada (L min^{-1}). Tal escala e as correspondentes vazões são apresentadas na Tabela 8. Além disso, foram realizadas as pesagens dos cilindros no início e final do experimento para o conhecimento da quantidade de CO_2 aplicado, calculando-se, posteriormente, a dosagem utilizada, em kg ha^{-1} .

Tabela 8. Calibração da vazão de CO_2 no fluxômetro

Trat.	Dosagem de CO_2 (ppm)	Volume a aplicar ($\text{cm}^3 \text{CO}_2 / \text{L água}$)	Vazão água/Trat. (12 parcelas) (L min^{-1})	Vazão CO_2 /Trat. (L min^{-1})	Escala de calibração no fluxômetro
T1	0	0,0	16,00	0,0	0,0
T2	400	27,9	16,00	0,4464	5,68
T3	800	55,8	16,00	0,8928	9,76

O tempo de aplicação de CO_2 variou em função da lâmina de irrigação, aplicando-o cinco minutos após iniciada a irrigação (momento em que o sistema estava pressurizado) e finalizando um minuto antes do término da irrigação.

3.4.6 Medição do pH no solo

Avaliou-se o efeito do CO₂ aplicado via água de irrigação no pH do solo. O pH do solo foi medido por um aparelho Soil Tester Modelo DM-5, Marca Demetra Tokyo, Japan, de leitura direta ao ser introduzido no solo úmido a 10 cm de profundidade.

As leituras foram realizadas, antes, durante e após aplicação de CO₂, sendo que as três modalidades de leitura foram efetuadas em cada parcela apenas uma vez.

Antes do início da aplicação da água e CO₂, três a quatro minutos após a estabilização do aparelho medidor, realizava-se a primeira leitura. A segunda leitura era realizada dez minutos após iniciada a irrigação e cinco minutos após iniciada a injeção de CO₂ e a terceira leitura era realizada dez minutos após o término da irrigação.

3.4.7 Parâmetros avaliados

Durante este experimento, efetuaram-se cinco avaliações do número de folhas, área foliar, número de estolões, número de tubérculos e da massa seca da parte aérea, das raízes e dos tubérculos, extraindo-se duas plantas laterais de cada parcela, no intervalo de quatorze dias, iniciando-se em vinte de junho 2002, ou seja, quatorze dias após emergência (DAE) e sete dias após início da aplicação de CO₂. Essas avaliações foram efetuadas de forma similar a do Experimento I.

3.4.8 Amostragem da parte aérea, raízes e tubérculos

Por ocasião da colheita, em dezoito de setembro de 2002, efetuou-se uma amostragem da parte aérea total de dez plantas escolhidas ao acaso, das linhas

centrais de cada tratamento, sendo as mesmas enviadas, juntamente com amostras de raízes, ao laboratório para análise.

Também foi realizada a amostragem dos tubérculos, para análise de macro e micronutrientes, lavando-os, secando-os à sombra e selecionando-os previamente. A seleção consistiu na separação de dez tubérculos ao acaso das quatro parcelas de cada tratamento.

3.4.9 Produtividade total de tubérculos

Realizou-se de forma similar ao experimento I. Pela proporção entre a massa total e a área útil da parcela experimental, obteve-se a produtividade total.

3.4.10 Produtividade comercial de tubérculos

Foi efetuada a classificação similar ao experimento I: dividindo-os em quatro classes: especial ou “graúda” (com diâmetro maior que 45 mm), primeira (com diâmetro entre 33 e 45 mm), segunda (com diâmetro entre 23 e 33 mm), e “miudinha” (tubérculos com diâmetro entre 20 e 23 mm). Os tubérculos com diâmetro menor a 20 mm foram considerados como descarte, assim como aqueles que apresentavam más formações. Pela proporção entre a massa total das classes especial, primeira, segunda e miudinha e, a área útil da parcela experimental, obteve-se a produtividade comercial.

3.4.11 Características tecnológicas dos tubérculos

As características tecnológicas das batatas foram avaliadas em amostras de 4 tubérculos da classe especial, ou seja, com diâmetro superior a 45 mm,

tomados ao acaso, dentro de cada parcela experimental, lavados e secos à sombra.

3.4.11.1 pH

Os tubérculos foram fatiados em cortador inox e uma amostra de 50 g desse material foi triturada em homogeneizador com 100 mL de água destilada. A leitura do pH deste extrato foi realizada em potenciômetro TECNOPON, modelo MPA210.

3.4.11.2 Acidez titulável

Um extrato preparado do mesmo modo que no item 3.4.11.1 foi titulado com solução de hidróxido de sódio 0,1N até pH 8,1, utilizando-se potenciômetro digital (TECNOPON, modelo MPA210). Para cálculo da acidez utilizou-se a fórmula apresentada na Equação 12. Os resultados foram expressos em percentual do ácido presente em maior quantidade na amostra em estudo, que é o ácido cítrico.

$$AC = \frac{(V \cdot 0,64)}{P} \quad (12)$$

sendo:

- AC - Acidez titulável, % de ácido cítrico;
- V - Volume de NaOH 0,1N gasto na titulação, mL;
- P - Quantidade da amostra, g.

3.4.11.3 Firmeza

A firmeza das batatas foi avaliada utilizando-se um penetrômetro manual, modelo FT-327 (3 a 27 lbs) e ponteira de 8 mm de diâmetro. Foram efetuadas duas leituras em cada tubérculo, em lados opostos da região equatorial, e os resultados expressos em Newton metro⁻² (N m⁻²).

3.4.11.4 Sólidos solúveis totais

Para esta avaliação os tubérculos foram cortados em pedaços e prensados. Duas gotas do suco resultante da prensagem foram colocadas no prisma do refratômetro eletrônico ATAGO, modelo DBX-30 e efetuada a leitura dos graus Brix a 20°C. Os resultados foram expressos em percentual a base de peso.

3.4.11.5 Coloração da polpa

Para esta determinação cada tubérculo era dividido em duas metades e as leituras de cor efetuadas em ambas as superfícies, na região central da polpa. A coloração da polpa dos tubérculos foi avaliada em colorímetro, modelo MINOLTA CHROMA METER, modelo CR-200B, e expressa no sistema L* (luminosidade com escala de 0 a 100), a* (escala de -60, correspondente à cor verde a +60, que corresponde a cor vermelha) e b* (escala de -60, correspondente à cor azul a +60, que corresponde à cor amarela).

3.4.11.6 Teor de matéria seca

O teor de matéria seca foi determinado em amostras de tubérculos fatiados em cortador inox. Cerca de 7g destas fatias foram colocadas em placas de Petri e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 105°C, até peso constante. O teor de matéria seca dos tubérculos foi obtido pela Equação 13.

$$MS = \frac{Pf}{Pi} \cdot 100 \quad (13)$$

sendo:

- MS - Teor de matéria seca, %;
- Pf - Peso final da amostra, %;
- Pi - Peso inicial da amostra, g.

3.4.11.7 Teor de açúcares redutores

Os tubérculos foram fatiados em cortador inox, desidratados em estufa com circulação forçada de ar a 45°C por 24 horas e moído em moínho tipo Willey. A metodologia utilizada para a determinação dos açúcares redutores foi a de Somogy-Nelson (Somogy, 1945).

3.4.11.8 Teor de amido

Os tubérculos foram fatiados em cortador inox, desidratados em estufa com circulação forçada de ar a 45°C por 24 horas e moído em moínho tipo Willey. O teor de amido foi determinado pela metodologia enzimática de Rickard & Behn (1987) e a dosagem de açúcares redutores por Somogy-Nelson (Somogy, 1945).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo preliminar

4.1.1 Ponto de saturação de luz e ponto de compensação de CO₂

As medições foram realizadas tanto pela manhã como durante a tarde. Na Figura 9, observa-se que os dois horários não tiveram diferença, conforme mostra o desvio padrão. Nesta curva pode-se observar que o maior valor de fotossíntese foi obtido quando o valor de DFFFA (Densidade de Fluxo de Fótons Fotossinteticamente Ativos) era em torno de 1.000 $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Figura 9 - Taxa de assimilação de CO₂ (A) em função da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), sob concentração de CO₂ para batata cv. Itaráre, medidos em casa de vegetação

A equação representativa da curva foi o modelo polinomial de segundo grau conforme visto na Equação 14.

$$A = 1,2718 + 0,0197DFFFA - 9,10^{-6}.DFFFA^2 \quad (14)$$

em que:

- A - Assimilação de CO₂, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$;
- DFFFA - Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos, $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; e.
- R² - 0,9048

A partir da equação ajustada para a assimilação de CO₂ em função de DFFFA, estimou-se o ponto de compensação luminosa, obtendo-se um valor A máximo de 12,05 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, quando o valor de DFFFA era de 1.094,44 $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Figura 10 – Taxa de assimilação de CO₂ em função da concentração de CO₂, para a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) de 1.000 $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para a cultura de batata 'Itararé' cultivadas em casa de vegetação

Na Figura 10, sob DFFFA de $1.000 \mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ pode-se observar o incremento na assimilação de CO_2 a medida que aumenta a concentração de CO_2 , até chegar a um máximo de assimilação de CO_2 , para então começar a cair.

A partir da equação ajustada (Equação 15) para assimilação de CO_2 em função da concentração de CO_2 obteve-se um valor máximo de A ($27,13 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) com a concentração de CO_2 igual a $1.210 \mu\text{mol mol}^{-1}$.

$$A = -2,1502 + 0,0484[\text{CO}_2] - 2 \cdot 10^{-5} [\text{CO}_2]^2 \quad (15)$$

em que:

- A - Assimilação de CO_2 , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$;
- CO_2 - Concentração de dióxido de carbono, $\mu\text{mol mol}^{-1}$; e
- R^2 - 0,9767

Os níveis de assimilação máxima de CO_2 variam nas diferentes espécies, mesmo dentro do grupo de plantas C3. Gomes (2001), encontrou uma assimilação máxima de CO_2 quando o valor de DFFFA foi de $1400 \mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e a concentração de CO_2 foi de $600 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ para a cultura de alface.

4.2 Experimento I

4.2.1 Elementos meteorológicos

Foram coletadas da base de dados da ESALQ (2001), as umidades relativas, assim como a média dos valores de temperatura mínima, temperatura máxima e temperatura média, os quais são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Elementos meteorológicos observados durante o experimento I. Piracicaba, SP. 2001

Fragata, CP: 2004				
Meses	UR (%)	TEMP. MÉDIA MENSAL DO AR		TMédia(°C)
		(°C)		
		Máx. (°C)	Mín.(°C)	
Julho	72	26,3	10,9	18,6
Agosto	65	28,0	12,4	20,2
Setembro	67	28,1	14,7	21,4
Outubro	69	29,5	16,1	22,8

Na Figura 11 estão apresentados os dados referentes às condições climáticas durante o ciclo da cultura.

Figura 11 – Valores semanais de umidade relativa, temperatura máxima, mínima do ar durante o período correspondente ao experimento I. Piracicaba, S.P. 2001

4.2.2 Uniformidade de irrigação

O comportamento da uniformidade de irrigação, apresentado na Figura 12, mostra a uniformidade estatística de 92,1% e coeficiente de variação de 7,9%. Estes valores estão dentro da faixa indicada por Bernardo (1995) para o sistema de irrigação localizada e indicam uma boa distribuição de água nas parcelas.

Figura 12 – Uniformidade de distribuição de irrigação do experimento I

4.2.3 Manejo de irrigação e aplicação de CO₂

4.2.3.1 Irrigação

A lâmina de água aplicada à cultura, pela irrigação, durante o ciclo de 115 dias, foi de 123,69 mm. Nesse mesmo período registrou-se precipitação total de 263,67 mm, resultando num total de lâmina de água adicionada ao solo de 387,36 mm. O total de evaporação pelo tanque Classe A durante o período foi de 361,14 mm.

A umidade do solo foi acompanhada pela leitura do potencial mátrico, estabelecendo-se como critério a manutenção da umidade do solo próximo à capacidade de campo. Na Figura 13 observa-se o potencial mátrico, o qual em módulo foi ligeiramente inferior a 10 kPa na maior parte do período de cultivo, indicando um possível excesso de água.

Figura 13 – Leitura dos tensiômetros (-kPa) a três profundidades nas parcelas durante o período do experimento I

No período que durou o experimento registraram-se chuvas concentradas, ocorrendo com mais freqüência na última fase da cultura, diminuindo o potencial mátrico do solo em módulo a níveis menores que 10 kPa. Isto ocasionou a interrupção da aplicação de água e consequentemente do CO_2 .

Na Figura 14 observa-se que a aplicação da irrigação começou muito cedo, ou seja, o solo ainda tinha umidade suficiente para permitir o brotamento. Como resultado obteve-se falha no “stand” de brotamento devido a podridão de alguns tubérculos-semente.

Figura 14 – Quantidade de água aplicada, evapotranspiração da cultura (ETc) e precipitação durante o experimento I

4.2.3.2 Aplicação de CO₂

Na Tabela 10 apresenta-se a quantidade de CO₂ por hectare utilizada tanto teórica como real, em cada tratamento durante o período do experimento I. O valor real foi obtido pela diferença de pesagem dos cilindros com CO₂, realizada no início e no final do experimento.

Tabela 10. Quantidade de CO₂ por hectare utilizada na cultura de batata cv. Itaráre durante o ciclo da cultura no experimento I, 2001

Tratamento	Dosagem de CO ₂ (ppm)	CO ₂ utilizado (kg ha ⁻¹)	
		Teórico	Real
T1	370 (atmosférico)	0,0	0,0
T2	580	205,20	148,12
T3	790	279,36	219,22
T4	1000	353,52	358,91
T5	1210	427,68	923,75

Pode-se observar na Tabela 10, uma diferença na quantidade teórica e real de CO₂ utilizado, possivelmente devido à calibração. Já no tratamento T5

correspondente a 1.210 ppm obteve-se um valor muito elevado de CO₂ real como consequência de fuga de gás pelo conector que causou aplicação de dosagem excessiva.

4.2.4 Acúmulo de nutrientes na parte aérea, raízes e tubérculos

Para determinar a quantidade total de nutrientes acumulados em cada uma das partes da planta, e como os resultados das análises apresentaram as concentrações dos macronutrientes em g kg⁻¹ e dos micronutrientes em mg kg⁻¹, multiplicou-se a concentração de cada nutriente pela massa de material seco de cada órgão da planta.

O acúmulo total máximo corresponde à necessidade total do nutriente para a cultura, e varia em função da produtividade e da cultivar.

Na Figura 15 apresenta-se o acúmulo dos macronutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na parte aérea, raízes e tubérculos de batata cv. Itararé.

Observa-se que o acúmulo máximo de nitrogênio total foi de 3.355,68 mg planta⁻¹ (104,88 kg ha⁻¹) aos 103 DAP para dose 1 (sem aplicação de CO₂) para uma produtividade de 19,7 t ha⁻¹; e a máxima de 4.192,64 mg ha⁻¹ (131,02 kg ha⁻¹) para a dose 2 de CO₂ (205,2 kg ha⁻¹) para uma produtividade de 22,03 t ha⁻¹. Jackson & Haddock (1959) encontraram um acúmulo de 155 kg ha⁻¹ de N no cv. Russet Burbank para 38 t ha⁻¹.

Observa-se também que tanto a parte aérea como os tubérculos acumularam 47,17 e 51,55% de N respectivamente, e o acúmulo nas raízes alcança pouco mais de 1%. Paula et al., (1986a) observaram que a maior parte de nitrogênio acumulado estava nos tubérculos (88%) do cv. Achat e 80% no cv. Mantiqueira.

O acúmulo máximo de fósforo total para a dose 1 foi de 335,37 mg planta⁻¹ (9,54 kg ha⁻¹) para uma produtividade de 19,7 t ha⁻¹, encontrando-se acumulado

62% nos tubérculos e 36% na parte aérea, sendo o acúmulo

Figura 15 – Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, e Enxofre acumulado nos órgãos da batata aos 103 DAP (mg planta⁻¹) em função das doses 1=0; 2=205,5; 3=279,36; 4=353,52; e 5=427,68 kg ha⁻¹ de CO₂

máximo de fósforo total de 434 mg planta⁻¹ (13,58 kg ha⁻¹) quando aplicado a doses 4 de CO₂ (353,52 kg ha⁻¹) para uma produtividade de 19,89 t ha⁻¹, acumulado 76,7% nos tubérculos e 23% na parte aérea. Jackson & Haddock (1959) observaram, um acúmulo máximo de fósforo de 13 kg ha⁻¹ para 38 t ha⁻¹ no cv. Rosset Burbank.

O acúmulo máximo de potássio total para a dose 1 foi de 6.261,13 mg planta⁻¹ (195,66 kg ha⁻¹) para uma produtividade de 19,7 t ha⁻¹, fracionado em 55% nos tubérculos e 43,5% na parte aérea, sendo o máximo acúmulo de potássio total encontrado de 7.739,35 mg planta⁻¹ (241,85 kg ha⁻¹) quando aplicado a dose 2 de CO₂ (205,2 kg ha⁻¹) para uma produtividade de 22,03 t ha⁻¹, encontrando-se acumulado 43% nos tubérculos e 55% na parte aérea. Hawkins (1946), observou um acúmulo máximo de potássio total de 215 kg ha⁻¹ no cv. Green Mountain para uma produtividade de 29 t ha⁻¹.

O acúmulo máximo de cálcio total para a dose 1 foi de 2036,30 mg planta⁻¹ (63,63 kg ha⁻¹) para uma produtividade de 19,7 t ha⁻¹, encontrando-se acumulado 88% na parte aérea e 10% nos tubérculos, sendo o máximo acúmulo de cálcio total também com a dose 1. Ezeta & McCollum (1972), no cv. Renacimiento, observaram acúmulo máximo de 60 kg ha⁻¹.

O acúmulo máximo de magnésio total para a dose 1 foi de 665,93 mg planta⁻¹ (20,81 kg ha⁻¹) para uma produtividade de 19,7 t ha⁻¹, fracionado em 76,6% na parte aérea e 22,5% nos tubérculos, sendo o máximo acúmulo de magnésio total de 741,73 mg planta⁻¹ (23,18 kg ha⁻¹) para uma produtividade de 20,70 t ha⁻¹ quando aplicado a dose 5 de CO₂ (427,68 kg ha⁻¹), encontrando-se acumulado 22,6% nos tubérculos e 76,7% na parte aérea. Paula et al. (1986a) encontraram acúmulo máximo de 4,8 e 2,4 kg ha⁻¹ de magnésio nos cultivares Mantiqueira e Achat, respectivamente.

O acúmulo máximo de enxofre total para a dose 1 foi de 394,80 mg planta⁻¹ (12,34 kg ha⁻¹) para uma produtividade de 19,7 t ha⁻¹, fracionado em 55% nos tubérculos e 43,07% na parte aérea, sendo o máximo acúmulo de enxofre

total foi 516,26 mg planta⁻¹ (16,13 kg ha⁻¹) para uma produtividade de 19,89 t ha⁻¹ quando aplicado a dose 4 de CO₂ (353,52 kg ha⁻¹), encontrando-se acumulado 40,5% na parte aérea e 58,16% nos tubérculos. Hawkins (1946), encontrou acúmulo máximo de 12 kg ha⁻¹ no cv Green Mountain.

Na Figura 16 apresenta-se o acúmulo dos micronutrientes na parte aérea, raízes e tubérculos da batata cv. Itaráré.

Figura 16 – Boro, Cobre, Ferro, Manganês, e zinco acumulado nos órgãos da batata aos 103 DAP ($\mu\text{g planta}^{-1}$) em função das doses 1=0; 2=205,5; 3=279,36; 4=353,52; e 5=427,68 kg ha^{-1} de CO_2

O acúmulo máximo de boro total aos 103 DAP para a dose 1 (Figura 16) foi de $4.424,30 \mu\text{g planta}^{-1}$ ($138,26 \text{ g ha}^{-1}$) para uma produtividade de $19,7 \text{ t ha}^{-1}$, fracionado em 58,3% na parte aérea e 40% nas raízes. O máximo acúmulo de boro foi de $4.589,39 \mu\text{g planta}^{-1}$ ($143,42 \text{ g ha}^{-1}$) para uma produtividade de $20,7 \text{ t ha}^{-1}$ quando aplicado a dose 5 de CO_2 ($427,68 \text{ kg ha}^{-1}$), fracionado em 62% na parte aérea e 36,5 nas raízes. Paula et al. (1986b) encontraram máximo acúmulo de boro de 22,2 e $12,4 \text{ g ha}^{-1}$ nos cultivares Achat e Mantiqueira, respectivamente.

O acúmulo máximo de cobre total aos 103 DAP para a dose 1 foi de $3.632,93 \mu\text{g planta}^{-1}$ ($113,53 \text{ g ha}^{-1}$) para uma produtividade de $19,7 \text{ t ha}^{-1}$, fracionado em 62,9% na parte aérea e 33,74% nas raízes. O máximo acúmulo de cobre foi de $5327,85 \mu\text{g planta}^{-1}$ ($166,50 \text{ g ha}^{-1}$) para uma produtividade de $22,03 \text{ t ha}^{-1}$ quando aplicado a dose 2 de CO_2 ($205,5 \text{ kg ha}^{-1}$), fracionado em 65% na parte aérea e 31% nas raízes. Paula et al. (1986b) observaram acúmulo máximo de cobre aos 86 DAE de 22,4 e 18 g ha^{-1} nos cultivares Mantiqueira e Achat, respectivamente.

O acúmulo máximo de ferro total aos 103 DAP para a dose 1 foi de $103.769,85 \mu\text{g planta}^{-1}$ ($3242,81 \text{ g ha}^{-1}$) para uma produtividade de $19,7 \text{ t ha}^{-1}$, fracionado em 58,25% na parte aérea e 25,59% nas raízes. O máximo acúmulo de ferro foi de $118.418,05 \mu\text{g planta}^{-1}$ ($3702,75 \text{ g ha}^{-1}$) para uma produtividade de $20,70 \text{ t ha}^{-1}$ quando aplicado a dose 5 de CO_2 ($427,68 \text{ kg ha}^{-1}$), fracionado em 59,06% na parte aérea e 28,30% nas raízes. No entanto, Paula et al. (1986b) encontraram valores de acúmulo de 710 e 760 g ha^{-1} nos cv. Mantiqueira e Achat, respectivamente.

O acúmulo máximo de manganês total aos 103 DAP para a dose 1 foi de $10.617,30 \mu\text{g planta}^{-1}$ ($331,79 \text{ g ha}^{-1}$) para uma produtividade de $19,7 \text{ t ha}^{-1}$, fracionado em 85% na parte aérea e 10,26% nas raízes. O máximo acúmulo de

manganês foi de 13.465,09 $\mu\text{g planta}^{-1}$ (420,78 g ha^{-1}) para uma produtividade de 22,03 t ha^{-1} quando aplicado a dose 2 de CO_2 (205,5 kg ha^{-1}), fracionado em 84% na parte aérea e 8,6% nas raízes. Paula et al. (1986b) encontraram valores de acúmulo de 140 e 104 g ha^{-1} nos cv. Mantequeira e Achat, respectivamente.

O acúmulo máximo de zinco total aos 103 DAP para a dose 1 foi de 5291 $\mu\text{g planta}^{-1}$ (165,34 g ha^{-1}) para uma produtividade de 19,7 t ha^{-1} , fracionado em 49,87% na parte aérea e 43,77% nas raízes. O máximo acúmulo de zinco foi de 6761,19 $\mu\text{g planta}^{-1}$ (211,29 g ha^{-1}) para uma produtividade de 22,03 t ha^{-1} quando aplicado a dose 2 de CO_2 (205,5 kg ha^{-1}), fracionado em 52,62% na parte aérea e 41,62% nas raízes. Paula et al. (1986b) encontraram valores de acúmulo de 86 e 38 g ha^{-1} nos cv. Mantequeira e Achat, respectivamente.

Após realizado a colheita do Experimento I, efetuou-se amostragem do solo por tratamento, cujo resultado é apresentado na Tabela 11, onde não existe variação significativa de pH com as diferentes concentrações de CO_2 aplicados. Possivelmente ocorreu uma diminuição temporária de pH quando era aplicado CO_2 , para logo recuperar seu valor inicial, tal como indicam Storlie & Heckman (1996). Observa-se também uma diminuição de matéria orgânica conforme o incremento de CO_2 , provavelmente porque o nitrogênio de solo ficou disponível e foi aproveitado pela planta, incrementando a biomassa da mesma (Stiling, et al., 2003); a mesma tendência seguem os teores de P, K e Ca.

Tabela 11. Análise química de macronutrientes do solo ao final do experimento I à profundidade de 0-20 cm. Piracicaba, SP. 2001

Trat.	pH CaCl 2	M.O. g dm^{-3}	P mg dm^{-3}	S mg dm^{-3}	K mmolc dm^{-3}	Ca mmolc dm^{-3}	Mg mmolc dm^{-3}	Al mmolc dm^{-3}	H+Al mmolc dm^{-3}	SB mmolc dm^{-3}	T mmolc dm^{-3}	V (%)
T1	5,2	34	27	99	4,6	80	19	0	38	103,6	141,6	73
T2	5,3	32	25	95	4,2	48	15	0	38	67,2	105,2	64
T3	5,4	33	25	88	4,9	61	18	0	34	83,9	117,9	71
T4	5,2	32	21	89	4,3	46	15	0	38	65,3	103,3	63
T5	5,3	28	16	101	3,5	47	16	0	31	66,5	97,5	68

Também, pode-se observar na Tabela 12, redução nos teores de Fe, Mn e Zn conforme se incrementa a dose de CO₂. Possivelmente, com o incremento de CO₂ o pH baixou temporariamente favorecendo a absorção dos micronutrientes tal como observado por Tognoni et al. (1967).

Tabela 12. Análise química de micronutrientes do solo ao final do experimento I. à profundidade de 0-20 cm. Piracicaba, SP. 2001

Trat.	B	Cu	Fe	Mn	Zn
(mg dm ⁻³)					
T1	0,97	8,6	40	95,2	3,4
T2	0,67	7,8	37	86,6	3,1
T3	0,70	8,3	37	92,6	3,1
T4	0,90	8,5	38	83,6	3,3
T5	0,64	7,1	28	71,4	2,7

4.2.5 Análise de Crescimento

4.2.5.1 Número de folhas

A análise da variância mostrou que houve diferença significativa, pelo teste F entre o tempo de amostragem (Dias Após Emergência - DAE) ao nível de 1%, não ocorrendo para as doses de CO₂ nem para a interação. O detalhamento da análise, pelo teste de Tukey, está apresentado na Tabela 13.

Tabela 13. Médias originais de número de folhas para o fator tratamento dentro do fator tempo

Tratamentos	Médias do tempo de amostragem					Médias de tratamentos
	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	
T1	79,63a	150,13a	155,25a	163,63a	131,50a	136,03a
T2	68,00a	126,13a	164,88a	156,50a	147,88a	132,68a
T3	74,25a	150,50a	180,50a	158,00a	162,13a	145,08a
T4	85,75a	132,63a	206,50a	138,50a	141,63a	141,00a
T5	73,13a	138,63a	173,75a	177,13a	178,88a	148,30a
Médias	76,15C	139,60B	176,18A	158,75AB	152,40AB	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Verifica-se, quando comparados os tratamentos dentro do fator tempo de amostragem, que as menores médias de número de folhas encontram-se na amostragem aos 14 DAE. O maior número de folhas, independentes dos tratamentos, obteve-se aos 42 DAE, correspondendo ao estágio em que as plantas encontravam-se em pleno florescimento.

Comparando-se o fator tempo dentro dos tratamentos observa-se que não foi evidenciada diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das amostragens realizadas. A Figura 17 permite visualizar a equação de regressão média das curvas.

Figura 17 – Curva de médias de tratamentos e equação de regressão entre o número de folhas e os períodos de avaliação com as doses: D1=0; D2=205,2; D3=279,36; D4=353,52; D5=427,68 kg ha⁻¹ de CO₂

4.2.5.2 Número de estolões

O quadro de análise da variância mostrou que houve diferença significativa, pelo teste F, entre o tempo de amostragem (DAE) ao nível de 1%, não ocorrendo para as doses de CO₂ nem para a interação. O detalhamento da análise, pelo teste de Tukey, é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14. Médias originais do número de estolões para o fator tratamento dentro do fator tempo de amostragem

Tratamentos	Médias do Tempo de amostragem					Médias de tratamentos
	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	
T1	20,75a	9,38a	16,13a	8,88a	7,38a	12,50a
T2	23,13a	15,75a	16,75a	9,25a	6,13a	14,20a
T3	21,25a	14,75a	14,50a	7,75a	7,38a	13,13a
T4	18,88a	15,25a	17,75a	8,63a	9,13a	13,93a
T5	18,25a	9,75a	14,50a	8,00a	6,25a	11,35a
Médias	20,45A	12,98BC	15,93AB	8,50CD	7,25D	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Verifica-se na Tabela 14 que as menores médias de número de estolões, quando comparadas às doses de CO₂ dentro do tempo de amostragem, são encontradas aos 70 DAE, independente dos tratamentos, possivelmente porque a maioria dos estolões da planta já tinham se transformado em tubérculos, devido à aproximação do último estágio de crescimento. As maiores médias de número de estolões foram encontradas aos 14 DAE independente das doses de CO₂, período que corresponde ao início de formação de estolões.

Quando comparados o fator tempo dentro dos tratamentos observa-se que não foi evidenciada diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das amostragens realizadas.

4.2.5.3 Número de tubérculos

O quadro da análise da variância mostrou que houve diferença significativa, pelo teste F, entre o tempo de amostragem (DAE) ao nível de 1%, não ocorrendo para as doses de CO₂ nem para a interação. O detalhamento da análise, pelo teste de Tukey, é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15. Médias originais de número de tubérculos para o fator tratamento dentro do fator tempo de amostragem

Tratamentos	Médias do Tempo de amostragem				Médias de tratamentos
	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	
T1	10,62a	16,62a	14,50a	15,38a	14,28a
T2	11,12a	16,62a	16,25a	17,75a	15,43a
T3	14,00a	17,50a	13,50a	17,38a	15,59a
T4	13,12a	17,75a	14,12a	14,75a	14,94a
T5	12,50a	18,62a	18,25a	17,25a	16,65a
Médias	12,27B	17,42A	15,37AB	16,50A	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Verifica-se na Tabela 15 que as menores médias de número de tubérculos, quando comparadas as doses de CO₂ dentro do tempo de amostragem, foram encontradas aos 28 DAE, independente dos tratamentos, possivelmente porque ainda estavam se transformando em tubérculos, não diferindo significativamente do número de tubérculos avaliados aos 56 DAE. As maiores médias de número de tubérculos foram encontradas aos 42 e 70 DAE, respectivamente, não diferindo significativamente entre si, nem com os avaliados aos 56 DAE.

Quando comparados o fator tempo dentro dos tratamentos observa-se que não foi evidenciada diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das amostragens realizadas.

A Figura 18 ilustra o comportamento de número de estolões e número de tubérculos assim como as equações de regressão para a média dos tratamentos em função das amostragens realizadas.

Figura 18 – Curvas de médias dos tratamentos e equações de regressão do número de estolões e tubérculos em função dos períodos de amostragem

4.2.5.4 Área foliar

A análise da variância mostrou que houve diferença significativa, pelo teste F entre o tempo de amostragem (DAE) ao nível de 1%, não ocorrendo para as doses de CO₂ nem para a interação. O detalhamento da análise, pelo teste de Tukey, está apresentado na Tabela 16.

Tabela 16. Médias originais de área foliar (dm²) para o fator tratamento dentro do fator tempo de amostragem

Tratamentos	Médias do tempo de amostragem					Médias de tratamentos
	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	
T1	25,53a	106,77a	111,95a	118,10a	74,30a	87,33a
T2	28,33a	89,65a	135,92a	118,45a	93,25a	93,12a
T3	22,98a	104,32a	145,32a	112,95a	92,72a	95,66a
T4	24,68a	91,55a	165,13a	100,28a	80,18a	92,36a
T5	29,07a	97,40a	135,80a	140,00a	99,42a	100,34a
Médias	26,12D	97,94BC	138,82A	117,96B	87,98C	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Verifica-se que as menores médias de área foliar encontram-se na amostragem aos 14 DAE, quando comparados as doses e CO₂ dentro do fator tempo de amostragem, o que coincide com o menor número de folhas mostrada na Tabela 13. O maior valor de área foliar, independente dos tratamentos, foi obtido aos 42 DAE, tendo uma correlação direta com o maior número de folhas aos 42 DAE mostrada na Tabela 13.

Comparando-se o fator tempo de amostragem dentro dos tratamentos observa-se que não foi evidenciada diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das amostragens realizadas.

A Figura 19 permite visualizar a equação de regressão média dos tratamentos em função das amostragens realizadas.

Figura 19 - Curva das médias dos tratamentos e equação de regressão entre a área foliar e os períodos de avaliação

4.2.5.5 Massa seca da parte aérea

O quadro da análise da variância mostrou que houve diferença significativa, pelo teste F, entre o tempo de amostragem (DAE) ao nível de 1%,

não ocorrendo para as doses de CO₂ nem para a interação. O detalhamento da análise, pelo teste de Tukey, está apresentado na Tabela 17.

Tabela 17. Médias originais de massa seca (g) da parte aérea para o fator tratamento dentro do fator tempo de amostragem

Tratamentos	Médias do tempo de amostragem					Médias de tratamentos
	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	
T1	11,31a	53,22a	53,10a	54,72a	58,63a	46,20a
T2	13,11a	50,28a	62,79a	60,73a	71,15a	51,61a
T3	12,12a	53,06a	68,35a	59,07a	63,10a	51,14a
T4	12,46a	51,99a	83,54a	60,63a	61,53a	54,03a
T5	13,94a	50,22a	70,49a	66,55a	67,75a	53,79a
Médias	12,59C	51,75B	67,65A	60,34AB	64,43A	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Verifica-se na Tabela 17 que as menores médias de massa seca da parte aérea, quando comparadas às doses de CO₂ dentro do tempo de amostragem, são encontradas aos 14 DAE, independente dos tratamentos, como consequência de ter apresentado as menores médias de número de folhas também aos 14 DAE. As maiores médias de massa seca da parte aérea foram encontradas aos 42 e 70 DAE, independente das doses de CO₂.

Observa-se que não foi evidenciada diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das amostragens realizadas quando comparados o fator tempo de amostragem dentro dos tratamentos.

A Figura 20 ilustra as curvas das médias dos tratamentos em função das amostragens realizadas.

Figura 20 - Curvas das médias de tratamento de: MSPA (Massa Seca da Parte Aérea), MSRA (Massa Seca das Raízes) e MSTU (Massa Seca dos Tubérculos) em função dos períodos de avaliação.

4.2.5.6 Massa seca de raízes

A análise da variância mostrou que houve diferença significativa, pelo teste F, entre o tempo de amostragem (DAE) ao nível de 1%, não ocorrendo para as doses de CO₂ nem para a interação. O detalhamento da análise, por meio do teste de Tukey, está apresentado na Tabela 18.

Tabela 18. Médias originais de massa seca (g) de raízes para o fator tratamento dentro do fator tempo de amostragem

Tratamentos	Médias do tempo de amostragem					Médias de tratamentos
	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	
T1	1,52a	4,15a	2,94a	2,55a	2,74a	2,78a
T2	1,77a	4,06a	3,76a	3,00a	3,45a	3,21a
T3	1,81a	4,47a	3,75a	3,05a	2,86a	3,19a
T4	1,81a	4,48a	4,20a	2,88a	2,95a	3,26a
T5	1,88a	3,67a	3,39a	3,08a	2,93a	2,99a
Médias	1,76D	4,16A	3,61AB	2,91C	2,99BC	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Verifica-se, quando comparados às doses de CO₂ dentro do fator tempo de amostragem, que as menores médias de massa seca de raízes foi encontrado na amostragem dos 14 DAE, devido a encontrar-se no início de seu desenvolvimento. O maior valor de massa seca de raízes, independente dos tratamentos, obteve-se aos 28 DAE, seguido aos 42 DAE. A Figura 20 permite visualizar melhor esse resultado.

Comparando-se o fator tempo de amostragem dentro dos tratamentos observa-se que não foi evidenciada diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das amostragens realizadas. Entretanto, pode-se observar um suave incremento de massa seca aos 42 DAE com o aumento da dosagem de CO₂. Possivelmente ocorreu um aumento no crescimento do sistema radicular, estimulado pela inibição de etileno, como indica Baker, (1988).

4.2.5.7 Massa seca de tubérculos

O quadro de análise da variância mostrou que houve diferença significativa, pelo teste F, entre o tempo de amostragem (DAE) ao nível de 1%, não ocorrendo para as doses de CO₂ nem para a interação. O detalhamento da análise, por meio do teste de Tukey, está apresentado na Tabela 19.

Tabela 19. Médias originais de massa seca (g) de tubérculos para o fator tratamento dentro do fator tempo de amostragem

Tratamentos	Médias do tempo de amostragem				Médias de tratamentos
	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	
T1	14,74a	45,89a	89,97a	136,20a	71,70a
T2	21,66a	47,90a	124,35a	165,52a	89,86a
T3	15,52a	64,57a	122,40a	132,75a	83,81a
T4	15,04a	76,34a	130,35a	166,82a	97,14a
T5	16,04a	63,47a	124,35a	167,65a	92,88a

Médias 16,6D 59,63C 118,28B 153,91A

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Verifica-se na Tabela 19 que as menores médias de massa seca de tubérculos são encontradas aos 28 DAE quando comparadas as doses de CO₂ dentro do tempo de amostragem, independente dos tratamentos e considerando que na primeira amostragem, correspondente aos 14 DAE, ainda não havia formação de tubérculos, razão pela qual esta amostragem não foi contemplada na análise estatística. As maiores médias de massa seca de tubérculos foram encontradas aos 70 DAE, independente das doses de CO₂.

Quando comparados o fator tempo de amostragem dentro dos tratamentos, observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das amostragens realizadas.

4.2.5.8 Índice de área foliar

A análise da variância mostrou que houve diferença significativa, pelo teste F, entre o tempo de amostragem (DAE) ao nível de 1%, não ocorrendo para as doses de CO₂ nem para a interação. O detalhamento da análise, por meio do teste de Tukey, está apresentado na Tabela 20.

Tabela 20. Médias originais do índice de área foliar para o fator tratamento dentro do fator tempo de amostragem

Tratamentos	Médias do tempo de amostragem					Médias de tratamentos
	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	
T1	0,80a	3,34a	3,50a	3,69a	2,32a	2,73a
T2	0,89a	2,80a	4,25a	3,70a	2,91a	2,91a
T3	0,72a	3,26a	4,54a	3,53a	3,50a	2,99a
T4	0,77a	2,86a	5,16a	3,14a	3,69a	2,89a
T5	0,91a	3,05a	4,24a	4,38a	3,11a	3,14a
Médias	0,82D	3,06BC	4,34A	3,69B	2,75C	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Verifica-se, quando comparados os tratamentos dentro do fator tempo de amostragem, que as menores médias do índice de área foliar encontram-se na amostragem aos 14 DAE. O maior índice de área foliar, independente dos tratamentos, obteve-se aos 42 DAE coincidindo com a maior área foliar obtida também aos 42 DAE, revelando assim, maior cobertura pelas folhas na área disponível do solo.

Comparando-se o fator tempo dentro dos tratamentos observa-se que não foi evidenciada diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das amostragens realizadas.

A Figura 21 permite visualizar a equação de regressão da média dos tratamentos em função das amostragens realizadas.

Figura 21 - Curva das médias de tratamento e equação de regressão entre o índice de área foliar e os períodos de avaliação

4.2.5.9 Relação parte aérea/raízes

O quadro de análise da variância mostrou que houve diferença significativa, pelo teste F, entre o tempo de amostragem (DAE) ao nível de 1%,

não ocorrendo para as doses de CO₂ nem para a interação. O detalhamento da análise, pelo teste de Tukey, está apresentado na Tabela 21.

Tabela 21. Médias originais da relação parte aérea/raízes para o fator tratamento dentro do fator tempo de amostragem

Tratamentos	Médias do tempo de amostragem					Médias de tratamentos
	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	
T1	7,45a	13,69a	18,20a	22,14a	21,48a	16,59a
T2	7,52a	12,42a	17,08a	20,37a	21,10a	15,70a
T3	7,06a	11,82a	18,48a	19,97a	23,03a	16,07a
T4	6,72a	11,50a	19,78a	21,61a	20,95a	16,11a
T5	7,42a	13,75a	21,25a	22,96a	25,35a	18,15a
Médias	7,23D	12,64C	18,96B	21,41AB	22,38A	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Verifica-se na Tabela 21 que as menores médias da relação parte aérea/raízes foram encontradas aos 14 DAE, quando comparadas as doses de CO₂ dentro do tempo de amostragem, independente dos tratamentos. As maiores médias da relação parte aérea/raízes foram encontradas aos 70 DAE, independente das doses de CO₂, indicando que o desenvolvimento da parte aérea foi muito maior que o do sistema radicular no último estágio.

Quando comparados o fator tempo de amostragem dentro dos tratamentos observa-se que não foi evidenciada diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das amostragens realizadas.

A Figura 22 permite visualizar a equação de regressão da média dos tratamentos em função às amostragens realizadas.

Figura 22 – Curva das médias de tratamento e equação de regressão entre a relação da parte aérea/raízes e os períodos de avaliação

4.2.5.10 Razão de área foliar

A análise da variância mostrou que houve diferença significativa, pelo teste F, entre o tempo de amostragem (DAE) ao nível de 1%, não ocorrendo para as doses de CO₂ nem para a interação. O detalhamento da análise, pelo teste de Tukey, está apresentado na Tabela 22.

Tabela 22. Médias originais da razão de área foliar (dm² g⁻¹) para o fator tratamento dentro do fator tempo de amostragem

Tratamentos	Médias do tempo de amostragem					Médias de tratamentos
	14 DAE	28 DAE	42 DAE	56 DAE	70 DAE	
T1	1,79a	1,50a	1,06a	0,79a	0,39a	1,11a
T2	1,87a	1,17a	1,19a	0,67a	0,38a	1,05a
T3	1,60a	1,46a	1,11a	0,61a	0,49a	1,05a
T4	1,71a	1,25a	1,07a	0,54a	0,35a	0,98a
T5	1,79a	1,41a	0,99a	0,73a	0,43a	1,07a
Médias	1,75A	1,36B	1,08C	0,67D	0,41E	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Verifica-se, quando comparados os tratamentos dentro do fator tempo de amostragem, que as menores médias da razão de área foliar encontram-se na amostragem aos 70 DAE. A maior razão de área foliar, independente dos tratamentos, obteve-se aos 14 DAE, devido ao incremento da massa seca da planta durante o ciclo da cultura, sendo os tubérculos o principal contribuinte para o incremento desta massa, apesar do incremento da área foliar.

Comparando-se o fator tempo de amostragem dentro dos tratamentos observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das amostragens realizadas.

A Figura 23 permite visualizar a equação de regressão da média das doses de CO₂ aplicada em função das amostragens realizadas.

Figura 23 – Curva das médias de tratamento e equação de regressão entre razão de área foliar e os períodos de avaliação

A Figura 24 apresenta a taxa de crescimento relativo obtida entre os períodos de amostragem nos diferentes tratamentos de CO₂, que representa o crescimento da planta em termos de matéria seca formada por unidade de tempo, em função da massa inicial. Observa-se incremento de matéria seca até o segundo período (correspondente à terceira menos a segunda amostragem) e o

subseqüente declínio no intervalo de tempo de amostragem. Dentro das dosagens de CO₂, evidenciou-se um maior crescimento da planta em termos de matéria seca com 353,52 kg ha⁻¹ de CO₂, no segundo período, para logo cair nos subseqüentes períodos. Nas demais dosagens não houve uma diferença marcante.

Figura 24 - Taxa de crescimento relativo na batateira em função dos períodos de amostragem com as doses: D1=0; D2=205,2; D3=279,36; D4=353,52; D5=427,68 kg ha⁻¹ de CO₂

A Figura 25 apresenta a taxa de produção de matéria seca obtida entre os períodos de amostragem e os diferentes tratamentos de CO₂.

Figura 25 - Taxa de produção de matéria seca na batateira em função dos períodos de amostragem com as doses: D1=0; D2=205,2; D3=279,36; D4=353,52; D5=427,68 kg ha⁻¹ de CO₂

Como consequência da maior área foliar na terceira amostragem, obteve-se também maior taxa de produção de matéria seca no segundo período. Com respeito às dosagens de CO₂, obteve-se maior taxa de produção de matéria seca no segundo período aplicando-se 353,52 kg ha⁻¹ de CO₂.

4.2.5.11 Produtividade total de tubérculos

O quadro de análise da variância mostrou que não houve diferença significativa, pelo teste F, entre os níveis de CO₂ ao nível de 1%, para a produtividade total de tubérculos. O detalhamento da análise, pelo teste de Tukey, está apresentado na Tabela 23.

Tabela 23. Médias originais de produtividade total em função das doses de CO₂

Tratamentos	Médias Originais Produtividade (t ha ⁻¹)
T1	19,70a
T2	22,03a
T3	21,21a
T4	19,89a
T5	20,70a

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Verifica-se na Tabela 23, quando comparadas as doses de CO₂ dentro da produtividade total de tubérculos, não houve diferença significativa. Observando-se apenas tendência de incremento quando aplicou-se a dose 2 (205,2 kg ha⁻¹ de CO₂), decrescendo com doses superiores.

Neste experimento, enriquecendo a água de irrigação com CO₂, não se alcançou incremento no rendimento. Possivelmente, este incremento é consequência dos efeitos combinados do enriquecimento de CO₂ e as modificações no ambiente do solo em função da disponibilidade de nutrientes, como indica Novero et al. (1991).

4.2.5.12 Classificação comercial de batata

O quadro de análise da variância mostrou que não houve diferença significativa, pelo teste F, entre os níveis de CO₂ ao nível de 1%, dentro de cada classe. O detalhamento da análise, pelo teste de Tukey, está apresentado na Tabela 24.

Tabela 24. Médias originais da classificação comercial e descarte de batata (%) em função das doses de CO₂

Tratamentos	Médias de Classificação Comercial de Batata (%)				Descarte (%)
	Especial	Primeira	Segunda	Miudinha	
T1	54,41a	33,78a	7,04a	1,26a	3,51a
T2	53,07a	34,33a	7,90a	0,85a	3,85a
T3	55,57a	30,49a	7,26a	0,79a	5,89a
T4	57,88a	27,81a	6,67a	0,86a	6,78a
T5	55,97a	31,88a	7,69a	0,84a	3,62a

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Observa-se na Tabela 24 que não ocorreu nenhuma diferença significativa dentro de cada classe com a variação das dosagens de CO₂. Porém, entre classes, evidencia-se que a especial apresentou-se em maioria (superior a 50%) com relação a produção comercial, independente da dosagem de CO₂, registrando maior massa, e conseqüentemente, maior valor econômico, seguida pelas classes primeira, segunda e miudinha respectivamente.

A Figura 26 permite visualizar o comportamento da classificação comercial de batata em função das doses de CO₂ aplicadas.

Figura 26 – Classificação comercial de batata (%) em função da doses de CO₂ aplicadas

4.2.5.13 Sólidos solúveis totais dos tubérculos

O quadro de análise da variância mostrou que houve diferença significativa, pelo teste F, entre os níveis de CO₂ ao nível de 1%, para a variável sólidos solúveis dos tubérculos. O detalhamento da análise, pelo teste de Tukey, está apresentado na Tabela 25.

Tabela 25. Médias originais de sólidos solúveis totais para o fator tratamento

Tratamentos	Sólidos solúveis totais (°Brix)
T1	4,61a
T2	4,45ab
T3	4,29ab
T4	4,13ab
T5	3,97b

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Verifica-se na Tabela 25 que a menor média foi encontrada com a maior dose de CO₂ aplicada, ou seja, a 427,68 kg ha⁻¹. Isto indica que o incremento de CO₂ na água de irrigação ocasionou a redução do teor de sólidos solúveis totais. A maior média de teor de sólidos solúveis totais foi encontrada no tratamento sem aplicação de CO₂. A tendência de redução, também ocorreu com as doses intermediárias. Ao comparar-se os teores extremos de CO₂ utilizados, verificou-se que o teor de sólidos solúveis foi 15 a 20 % menor com a dose de 427,68 kg ha⁻¹.

Possivelmente, o aumento na concentração de CO₂ aumenta a função carboxilase da enzima RUBISCO em detrimento a função oxigenase da mesma. Assim, maior quantidade de CO₂ é fixada na forma de amido devido à transformação dos açúcares em amido, como relatam Harman & Watkins (1981) e Peterson et al. (1985).

A Figura 27 permite visualizar a equação de regressão de sólidos solúveis totais de batata em função das doses de CO₂ aplicadas.

Figura 27 - Curva e equação de regressão para °Brix da batata em função das doses: D1=0; D2=205,2; D3=279,36; D4=353,52; D5=427,68 kg ha⁻¹ de CO₂

Pode-se inferir que o enriquecimento com CO₂ via água de irrigação possivelmente tem maior influencia no que se refere às características tecnológicas, as quais são discutidas com maiores argumentos no experimento II.

4.3 Experimento II

4.3.1 Elementos meteorológicos

As exigências climáticas, peculiares e muito precisas no caso de batateira, serão satisfeitas ou não, dependendo das condições agroecológicas.

Os elementos meteorológicos foram coletados da base de dados da ESALQ (2002), e são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26. Elementos meteorológicos observados durante o experimento II. Piracicaba, SP. 2002

Meses	UR (%)	Temp. Média Mensal do Ar (°C)		TMédia(°C)
		Máx. (°C)	Mín.(°C)	
Maio	77,45	26,84	14,50	20,67
Junho	68,07	27,92	12,63	20,28
Julho	67,94	25,21	10,19	17,70
Agosto	62,23	28,92	14,32	21,62
Setembro	60,53	27,52	13,63	20,58

O fator climático limitante na batata é a temperatura elevada, especialmente a noturna. Quando esta se mantém acima de 20°C, durante 60 dias, não ocorre a tuberização. A batateira exige uma diferença – termoperiodicidade diária – entre as temperaturas diurnas amenas e noturnas mais baixas, em torno de 10°C, e nenhum fitomelhorista conseguiu modificar essa característica. O fotoperíodo também afeta a planta, entretanto não é fator limitante (Filgueira, 1999).

Na Figura 28 estão apresentados os dados referentes às condições climáticas durante o experimento II.

Figura 28 – Valores semanais de umidade relativa, temperatura máxima e temperatura mínima do ar durante o período do experimento II. Piracicaba, SP. 2002

4.3.2 Uniformidade de irrigação

Na irrigação por gotejamento, apesar de ser esse o método de irrigação em que se tem um melhor controle da lâmina aplicada, é recomendável, após a instalação do sistema e a cada dois anos de funcionamento, determinar a uniformidade de irrigação (Bernardo, 1995).

Na Figura 29 apresenta-se a uniformidade com que foi aplicado durante o experimento II, sendo a uniformidade estatística de 91,55% e coeficiente de variação de 8,45%. Karmeli & Keller (1974) reportaram, que a uniformidade de aplicação de água na irrigação por gotejamento não deve ser inferior a 90%; neste experimento a uniformidade foi superior ao valor indicado, garantindo uma distribuição uniforme dos emissores.

Figura 29 – Uniformidade de distribuição de irrigação do experimento II

4.3.3 Manejo de irrigação e aplicação de CO₂

4.3.3.1 Irrigação

O manejo da irrigação foi semelhante ao do experimento I. A lâmina de água aplicada à cultura, pela irrigação, durante o ciclo de 117 dias, foi de 175,24 mm. A precipitação registrada nesse período foi de 115,18 mm, resultando num total de água incorporada ao solo de 290,42 mm. A evaporação pelo tanque Classe A para o mesmo período foi de 347,85 mm.

A umidade do solo foi monitorada por meio da leitura do potencial mátrico medido por tensiômetros instalados na área experimental. Na Figura 30 pode-se observar em módulo o potencial mátrico durante o período do experimento.

Figura 30 – Leitura dos tensiômetros (-kPa) a três profundidades nas parcelas durante o período do experimento II

Na Figura 31 observa-se que durante o experimento II ocorreram chuvas concentradas principalmente na primeira semana de agosto, chegando próximo a 40 mm, o que obrigou a interrupção da irrigação, e conseqüentemente, da aplicação de CO_2 .

Figura 31 – Quantidade de água aplicada em função da evapotranspiração da cultura (Etc) e precipitação durante o experimento II

4.3.3.2 Aplicação de CO₂

Na Tabela 27 apresentam-se as doses de CO₂ por hectare utilizado em cada tratamento durante o ciclo da cultura no experimento II

Tabela 27. Quantidade de CO₂ utilizada por hectare em cada tratamento na cultura de batata nos cultivares Atlantic, Jatte-Bintje e Monalisa durante ciclo da cultura no experimento II, 2002

Tratamento	[CO ₂] ppm	CO ₂ utilizado (kg ha ⁻¹)	
		Teórico	Real
T1	0	0,0	0,0
T2	400	145,36	130,38
T3	800	290,72	260,57

4.3.4 Medição de pH no solo

4.3.4.1 Cultivar Atlantic

A análise de variância mostrou que houve diferença significativa, pelo teste F, entre o tempo de leitura de pH (antes, durante e após de aplicação de CO₂), não ocorrendo entre as doses de CO₂, nem para a interação. O detalhamento da análise, pelo teste de Tukey, está apresentada na Tabela 28.

Tabela 28. Médias originais de pH do solo antes, durante e após da aplicação de CO₂ no cultivar Atlantic

Modalidade de leitura	pH do solo
Antes da aplicação de CO ₂	5,68a
Durante a aplicação de CO ₂	4,83b
Depois da aplicação de CO ₂	5,02b

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Verifica-se que a maior média de pH (5,68) foi observada quando foi realizada a leitura antes da aplicação de CO₂. Entretanto, durante a aplicação de CO₂ o valor de pH caiu para 4,83, diferenciando-se significativamente da primeira leitura. Depois de paralisada a aplicação de CO₂, o pH tendeu a recuperar seu valor inicial, chegando a 5,02. Hartz & Holt (1991) observaram uma diminuição de pH de 7,3 para 5,3, mas a mudança de pH foi transitória, concordando com o que aconteceu neste experimento.

Na Figura 32 pode-se visualizar a variação de pH antes, durante e após da aplicação de CO₂. Observa-se que com o tratamento T1 (sem aplicação de CO₂) os valores de pH foram sempre maiores do que quando foram aplicados os tratamentos T2 e T3; embora mesmo com T1, os valores diminuíssem durante a aplicação, possivelmente, devido a que a água misturou-se com a solução do solo. Assim também, tanto em T2 e T3, as leituras de pH antes da aplicação de CO₂ apresentaram-se superiores para em seguida diminuir e logo tender a recuperar seu valor original.

Figura 32 – pH do solo antes, durante e após da aplicação dos tratamentos de CO₂ (T1 - 0; T2- 145,36; T3- 290,72 kg ha⁻¹) no cultivar Atlantic

4.3.4.2 Cultivar Jatte-Bintje

A análise de variância mostrou que houve diferença significativa, pelo teste F entre o tempo de leitura de pH (antes, durante e após da aplicação de CO₂), e entre a doses de CO₂ ao nível de 5%. Entretanto não apresentou diferença significativa para a interação. Os detalhamentos da análise, pelo teste de Tukey, estão apresentados nas Tabelas 29 e 30.

Tabela 29. Médias originais de pH do solo antes, durante e após da aplicação de CO₂ no cultivar Jatte-Bintje

Modalidade de leitura	pH do solo
Antes da aplicação de CO ₂	5,78a
Durante a aplicação de CO ₂	4,72c
Depois da aplicação de CO ₂	4,97b

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Verifica-se na Tabela 29, quando comparados os eventos de leitura de pH, a maior média (5,78) foi encontrada antes da aplicação de CO₂, e a menor média (4,72) quando a leitura foi realizada durante a aplicação de CO₂. Quando foi lido o pH após corte da aplicação de CO₂, o valor de pH voltou incrementar-se

até 4,97. Tognoni et al. (1967) elevando a concentração de CO₂ no solo, observou uma diminuição de pH do solo e como consequência ocorreu incremento na absorção de nutrientes, fato este que não aconteceu no presente experimento.

Na Tabela 30, comparando-se os tratamentos em cada uma das modalidades de leitura de pH, observa-se que nos três eventos (antes, durante, e após) a maior média foi obtida com o tratamento T1 (sem aplicação de CO₂), e a menor média com os tratamentos T2 e T3, que não foram diferentes significativamente entre si, igual nas três modalidades.

Tabela 30. Médias originais de pH do solo antes, durante e após da aplicação dos tratamentos (T1- 0; T2- 145,36; T3- 290,72 kg ha⁻¹ de CO₂) no cultivar Jatte-Bintje

Tratamento	Antes	Durante	Depois
T1	6,00a	5,00a	5,20a
T2	5,62b	4,60b	4,85b
T3	5,72b	4,55b	4,87b

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

A Figura 33 permite visualizar a variação de pH dentro dos tratamentos e dentro das modalidades de leitura. A tendência é apresentar pH alto ao início, logo durante a aplicação de CO₂ cair o valor de pH, para após tender a voltar ao valor inicial, quando é concluída a aplicação de CO₂.

Figura 33 - pH do solo antes, durante e após da aplicação dos tratamentos (T1- 0; T2- 145,36; T3- 290,72 kg ha⁻¹ de CO₂) no cultivar Jatte-Bintje

4.3.4.3 Cultivar Monalisa

A análise de variância mostrou que houve diferença significativa, pelo teste F, entre o tempo de leitura de pH (antes, durante e após da aplicação de CO₂) ao nível de 5%. Entretanto não houve diferença significativa entre as doses de CO₂, nem para a interação ao nível de 5%. O detalhamento da análise, pelo teste de Tukey, está apresentado na Tabela 31.

Tabela 31. Médias originais de pH do solo antes, durante e após da aplicação de CO₂ no cultivar Monalisa

Modalidade de leitura	pH do solo
Antes da aplicação de CO ₂	5,65a
Durante a aplicação de CO ₂	4,58c
Depois da aplicação de CO ₂	4,94b

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Verifica-se, quando comparados os valores de pH dentro das modalidades de leitura, que a maior média (5,65) foi observada quando foi

realizada a leitura antes da aplicação de CO₂, e a menor média (4,58) apresentou-se quando a leitura foi realizada durante a aplicação de CO₂.

A Figura 34 permite visualizar as variações dos valores de pH dentro dos tratamentos e entre as modalidades de leitura.

Figura 34 - pH do solo antes, durante e após da aplicação dos tratamentos (T1- 0; T2- 145,36; T3- 290,72 kg ha⁻¹ de CO₂) no cultivar Monalisa

4.3.5 Acúmulo de nutrientes na parte aérea, raízes e tubérculos

Na Figura 35 apresenta-se o acúmulo de macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea, raízes e tubérculos dos cultivares Atlantic, Jatte-Bintje e Monalisa.

Dos três cultivares, o acúmulo máximo de Nitrogênio (N) ocorreu no cv. Jatte-Bintje, apresentando um total de 3.055,45 mg planta⁻¹ (95,48 kg ha⁻¹) para uma produção de 20,97 t ha⁻¹ quando se aplicou a dose 1 (sem aplicação de CO₂), seguido pelo cv Atlantic 2.796,65 mg planta⁻¹ (87,40 kg ha⁻¹), e Monalisa 2.245,90 mg planta⁻¹ (70,18 kg ha⁻¹). Yorinori (2003) reportou o acúmulo máximo de 3.362,14 mg planta⁻¹ de N (140 kg ha⁻¹) para uma produtividade de 36,5 t ha⁻¹

na safra das águas e 2.860,71 mg planta⁻¹ de N (119 kg ha⁻¹) para uma produtividade de 24 t ha⁻¹ na safra da seca no cv. Atlantic.

Figura 35 - Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, e Enxofre acumulados nos órgãos da batata aos 114 DAP (mg planta⁻¹) em função das doses 1=0; 2=145,36; 3=290,72 kg ha⁻¹ de CO₂

O acúmulo de N na parte aérea e nos tubérculos aos 114 DAP foi de 1.068,12 e 1.711,15 mg planta⁻¹ para o cv. Atlantic, 833,04 e 2.198,61 mg planta⁻¹ para o cv. Jatte-Bintje e 746,70 e 1.481,87 mg planta⁻¹ para o cv. Monalisa. Para Yorinori (2003), o acúmulo máximo de N nas raízes, caules, folhas e tubérculos aos 111 DAP foi de 2.933,54 mg planta⁻¹ na safra das águas e 2.736,24 mg planta⁻¹, aos 90 DAP, na safra da seca para o cv Atlantic.

O acúmulo máximo de fósforo (P) ocorreu com a dose 1 nos três cultivares, no entanto, o cv. Jatte-Bintje reportou o maior acúmulo (291,30 mg planta⁻¹) seguido do cv. Monalisa (274,06 mg planta⁻¹) e 'Atlantic' (234,57 mg planta⁻¹). Yorinori (2003) encontrou o acúmulo máximo de P total de 422,91 mg planta⁻¹, para 36,5 t ha⁻¹ na safra das águas e 366,33 mg planta⁻¹ para 24 t ha⁻¹ na safra da seca, no cv. Atlantic.

O acúmulo máximo de P na parte aérea e nos tubérculos foi de 23,09 e 76,28% no cv. Atlantic, 11,79 e 87,57% no cv. Jatte-Bintje e 12,19 e 87,34% no cv. Monalisa, respectivamente, quando se aplicou a dose 1.

O acúmulo máximo de potássio (K) aos 114 DAP ocorreu quando se aplicou a dose 1 nos cv Atlantic (4871,85 mg planta⁻¹) e Jatte-Bintje (5047,74 mg planta⁻¹); já no cv. Monalisa o acúmulo máximo ocorreu quando se aplicou a dose 3 (290,72 kg ha⁻¹ de CO₂). Yorinori (2003), com o cv. Atlantic, observou um acúmulo máximo total de 3.210,5 mg planta⁻¹ na safra das águas, e 3.339,4 mg planta⁻¹ na safra da seca. O acúmulo máximo de K na parte aérea e nos tubérculos foi de 37,92 e 61,98% no cv. Atlantic, 24,58 e 75,32% no cv. Jatte-Bintje, respectivamente, quando se aplicou a dose 1, e 31,20 e 68,41% no cv. Monalisa, com a dose 3.

O acúmulo máximo de cálcio (Ca) aos 114 DAP ocorreu quando se aplicou a dose 1 nos cv Atlantic (539,85 mg planta⁻¹) e Jatte-Bintje (599,38 mg planta⁻¹); já no cv. Monalisa o acúmulo máximo ocorreu com a dose 3 (290,72 kg ha⁻¹). O maior responsável pelo acúmulo de Ca nas três cultivares foi a parte aérea, sendo ínfimo nas raízes e nos tubérculos. Yorinori (2003) observou valores

de acúmulo máximo de 521,5 mg planta⁻¹ aos 92 DAP, na safra das águas, e 350,2 mg planta⁻¹ aos 55 DAP, na safra da seca.

O acúmulo máximo de magnésio (Mg) aos 114 DAP ocorreu com a dose 1 nos cultivares Atlantic (341,60 mg planta⁻¹), Jatte-Bintje (314,90 mg planta⁻¹), e Monalisa (221,87 mg planta⁻¹). Yorinori (2003) mostrou que na safra das águas, o acúmulo máximo de Mg total foi de 344 mg planta⁻¹ (14,3 kg ha⁻¹) aos 111 DAP, e na safra da seca de 166,4 mg planta⁻¹ (6,9 kg ha⁻¹) aos 69 DAP.

O acúmulo máximo de Mg na parte aérea e nos tubérculos foi de 58,91 e 39,29% no cv. Atlantic, 48,41 e 50,15% no cv. Jatte-Bintje, e 38,97 e 56,51% no cv. Monalisa, respectivamente, quando se aplicou a dose 1.

O acúmulo máximo de enxofre (S) aos 114 DAP com a dose 1 nos cultivares Atlantic, Jatte-Bintje, e Monalisa foram 274,86; 291,53; e 245,33 mg planta⁻¹, respectivamente. Entretanto no cv. Jatte-Bintje o acúmulo máximo de S (296,85 mg planta⁻¹) obteve-se com a dose 2 de CO₂ (145,36 kg ha⁻¹), e no cv. Monalisa o acúmulo máximo de S (272,53 mg planta⁻¹) ocorreu com a dose 3 de CO₂ (290,72 kg ha⁻¹). Yorinori (2003), indicou que o acúmulo máximo de S total foi de 260,6 mg planta⁻¹ (10,8 kg ha⁻¹) aos 111 DAP, na safra das águas, e de 161,4 mg planta⁻¹ (6,7 kg ha⁻¹) aos 87 DAP, na safra da seca.

O acúmulo máximo de S na parte aérea e nos tubérculos foi de 32,85 e 65,10% no cv. Atlantic, 27,25 e 70,83% no cv. Jatte-Bintje, e 28,03 e 69,69% no cv. Monalisa, respectivamente, quando se aplicou a dose 1.

Na Figura 36 apresenta-se o acúmulo de micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, e Zn na parte aérea, raízes e tubérculos dos cultivares Atlantic, Jatte-Bintje, e Monalisa.

O acúmulo máximo de boro (B) aos 114 DAP com a dose 1 nos três cultivares foi de 2.959,32; 2.477,24; e 2.405,14 mg planta⁻¹, respectivamente. Entretanto no cv. Jatte-Bintje o acúmulo máximo de B (2.649,53 mg planta⁻¹) foi

Figura 36 – Boro, Cobre, Ferro, Manganês, e Zinco acumulados nos órgãos da batata aos 114 DAP ($\mu\text{g planta}^{-1}$) em função das doses 1=0; 2=145,36; 3=290,72 kg ha^{-1} de CO₂

obtido com a dose 2 de CO₂ (145,36 kg ha^{-1}) e no cv. Monalisa o acúmulo máximo de B (2.414,83 mg planta^{-1}) foi observado com a dose 3 de CO₂ (290,72

kg ha⁻¹). Segundo Yorinori (2003), na safra das águas, o acúmulo máximo de B total foi de 2.574,82 µg planta⁻¹ (107,28 g ha⁻¹) aos 111 DAP, e na seca de 2.023,69 µg planta⁻¹ (84,32 g ha⁻¹) aos 71 DAP.

O acúmulo máximo de B na parte aérea e nos tubérculos foi de 53,18 e 45,35% no cv. Atlantic, 34,67 e 63,74% no cv. Jatte-Bintje, e 31,86 e 66,35% no cv. Monalisa, respectivamente, quando se aplicou a dose 1.

O acúmulo máximo de cobre (Cu) aos 114 DAP com a dose 1 nos três cultivares foi de 1.859,33; 2.689,63; e 1.855,58 mg planta⁻¹, respectivamente. Entretanto nos cultivares Atlantic e Monalisa o acúmulo máximo de Cu foi de 1.907,50 e 2.060,45 mg planta⁻¹, respectivamente, com a dose 3 de CO₂ (290,72 kg ha⁻¹). Já no cv. Jatte-Bintje o acúmulo máximo de Cu foi obtido com a dose 1 de CO₂ (sem aplicação de CO₂). Yorinori (2003), encontrou o acúmulo máximo de Cu total de 1.043,56 µg planta⁻¹ (43,5 g ha⁻¹) aos 111 DAP, e na safra da seca foi de 934,84 µg planta⁻¹ (38,9 g ha⁻¹) aos 90 DAP.

O acúmulo máximo de Cu na parte aérea e nos tubérculos foi de 34,69 e 60,15% no cv. Atlantic, 37,52 e 58,71% no cv. Jatte-Bintje, e 32,83 e 61,43% no cv. Monalisa, respectivamente, quando se aplicou a dose 1.

O acúmulo máximo de ferro (Fe) aos 114 DAP com a dose 1 nos três cultivares foi de 100.108,40; 105.465,50; e 63.731,68 µg planta⁻¹, respectivamente. Entretanto no cv. Monalisa o acúmulo máximo de Fe foi 75.719,45 mg planta⁻¹, com a dose 3 de CO₂ (290,72 kg ha⁻¹). Yorinori (2003), encontrou o acúmulo máximo total de Fe de 29.502,53 µg planta⁻¹ (1.229 g ha⁻¹) aos 111 DAP, na safra das águas, e 18.969,7 µg planta⁻¹ (790 g ha⁻¹) na safra da seca aos 92 DAP.

O acúmulo máximo de Fe na parte aérea e nos tubérculos foi de 12,23 e 41,37% no cv. Atlantic, 29,03 e 35,01% no cv. Jatte-Bintje, e 25,87 e 40,60% no cv. Monalisa, respectivamente, quando se aplicou a dose 1.

O acúmulo máximo de manganês (Mn) aos 114 DAP com a dose 1 nos três cultivares foi de 12.928,77; 14.736,41; e 11.424,74 mg planta⁻¹,

respectivamente. Entretanto no cv. Monalisa o acúmulo máximo de Mn foi 12.582,32 $\mu\text{g planta}^{-1}$, com a dose 2 de CO_2 (145,36 kg ha^{-1}). O acúmulo máximo total de Mn encontrado por Yorinori (2003) na safra das águas foi de 5.984,75 $\mu\text{g planta}^{-1}$ (250 g ha^{-1}) aos 84 DAP, e 3.131,91 $\mu\text{g planta}^{-1}$ (130 g ha^{-1}) na safra da seca aos 57 DAP.

O acúmulo máximo de Mn na parte aérea e nos tubérculos foi de 83,61 e 10,38% no cv. Atlantic, 84,94 e 9,89% no cv. Jatte-Bintje, e 85,14 e 9,98% no cv. Monalisa, respectivamente, quando se aplicou a dose 1. Pode-se observar que similar ao Ca a maior parte do Mn encontra-se acumulado na parte aérea.

O acúmulo máximo de zinco (Zn) aos 114 DAP com a dose 1 nos três cultivares foi de 4.983,45; 6.175,06; e 4.741,47 $\mu\text{g planta}^{-1}$, respectivamente. Entretanto no cv. Monalisa o acúmulo máximo de Zn foi 5.347,19 $\mu\text{g planta}^{-1}$, com a dose 3 de CO_2 (290,72 kg ha^{-1}). Yorinori (2003) mostrou que o acúmulo máximo de Zn total na safra das águas foi de 3.762,89 $\mu\text{g planta}^{-1}$ (156,8 g ha^{-1}) aos 111 DAP e na safra da seca foi de 2.991,44 $\mu\text{g planta}^{-1}$ (124,6 g ha^{-1}) aos 90 DAP.

O acúmulo máximo de Zn na parte aérea e nos tubérculos foi de 35,72 e 56,10% no cv. Atlantic, 26,77 e 64,91% no cv. Jatte-Bintje, e 29,42 e 57,70% no cv. Monalisa, respectivamente, quando se aplicou a dose 1.

4.3.6 Análise de crescimento

4.3.6.1 Cultivar Atlantic

Na tabela do Anexo A pode-se observar que existe uma forte correlação positiva (0,91) entre a massa seca e massa fresca dos tubérculos, fato que indica que podemos trabalhar com uma confiança de 99% nas análises com a massa fresca de tubérculos.

Os sinais negativos que aparecem nas correlações apresentadas nesta tabela se devem ao fato das medições realizadas corresponderem à última data de amostragem (70 DAP), quando a cultura encontrava-se na fase de senescência. Em consequência ocorreu queda de folhas que não foram quantificadas completamente, e o número de estolões diminuíram consideravelmente devido à transformação de estolão em tubérculo.

Análise de regressão

O modelo completo foi o seguinte:

$$Y = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 x_1 + \hat{a}_2 x_2 + \hat{a}_3 x_3 + \hat{a}_4 x_4 + \hat{a}_5 x_5 + \hat{a}_6 x_6 + \varepsilon$$

em que:

Y - massa fresca dos tubérculos (MFT)

X₁ - número de folhas (NF)

X₂ - área foliar (AF)

X₃ - número de estolões (NE)

X₄ - número de tubérculos (NT)

X₅ - massa seca da parte aérea (MSPA)

X₆ - massa seca das raízes (MSR)

ε - erro aleatório

O resultado da primeira análise foi o seguinte:

R ²	R ² ajustado	Estimativa do erro padrão
0,639	0,512	0,6985

Pode-se observar um bom ajuste com um coeficiente de determinação igual a 0,639.

A análise de variância mostrou que houve diferença significativa pelo teste F ao nível de 1%, observando-se que o modelo satisfaz a uma significância de 5%.

O detalhamento da análise de variância das variáveis em estudo é apresentada na Tabela 32.

Tabela 32. Análise de variância do número de folhas (NF), área foliar (AF), número de estolões (NE), número de tubérculos (NT), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) do cv. Atlantic no experimento II

	Coeficiente não estandarizado		Coeficiente estandarizado	t	α
	β	Erro padrão	β		
(Constante)	1,566x10 ⁻⁶	0,143		0,000	1,000
NF	-0,716	0,278	-0,716	-2,579	0,019
AF	0,913	0,446	0,913	2,047	0,056
NE	-0,362	0,185	-0,362	-1,959	0,067
NT	0,302	0,195	0,302	1,546	0,140
MSPA	0,270	0,294	0,270	0,918	0,372
MSR	-0,093	0,206	-0,093	-0,454	0,655

Pode-se observar que as variáveis número de folhas, área foliar, e número de estolões foram significativas ao nível de 5% de significância.

Ajustando o modelo considerando unicamente as variáveis significativas temos.

$$Y = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 x_1 + \hat{a}_2 x_2 + \hat{a}_3 x_3 + \hat{a}$$

em que:

Y- massa fresca dos tubérculos (MFT)

X₁- número de folhas (NF)

X₂- área foliar (AF)

X_3 - número de estolões (NE)

ε - erro aleatório

O resultado desse módulo foi a seguinte:

R^2	R^2 ajustado	Estimativa do erro padrão
0,582	0,519	0,6936

O coeficiente de determinação foi de 0,582 indicando que o modelo explica boa parte dos dados.

A análise de variância mostrou que houve diferença significativa pelo teste F, ao nível de 1%, com respeito a NF, NE, e AF. O detalhamento da análise de variância para as três variáveis é apresentado na Tabela 33.

Tabela 33. Análise de variância de número de folhas (NF), área foliar (AF), número de estolões (NE), do cv. Atlantic no experimento II

	Coeficiente não estandarizado		Coeficiente estandarizado	t	α
	β	Erro padrão	β		
(Constante)	2,827x10 ⁻⁶	0,142		0,000	1,000
NF	-0,879	0,229	-0,879	-3,843	0,001
AF	1,301	0,247	1,301	5,260	0,000
NE	-0,410	0,166	-0,410	-2,474	0,022

Observa-se que as variáveis NF, AF, e NE são significativas a 95 % de confiança. Quer dizer que estas variáveis são as que influenciam na massa fresca de tubérculos, refletindo na produção total.

Como consequência da senescência das plantas deixou-se de quantificar com precisão o número de folhas; assim as folhas que ficaram desenvolveram-se em tamanho, implicando em maior área foliar, que foi responsável pela fotossíntese e translocação de fotosintetizados para a formação dos tubérculos.

A diminuição do número de estolões na última data de amostragem se deve ao fato de que os estolões, que foram numerosos no princípio, foram

transformando-se em tubérculos, permanecendo somente aqueles que se formaram ao final do ciclo da cultura.

4.3.6.2 Cultivar Jatte-Bintje

Observa-se na tabela do Anexo C uma forte correlação positiva (0,931) entre a massa fresca e massa seca de tubérculo. Nessa matriz de correlação observa-se que as variáveis têm maior correlação com a massa fresca.

Análise de regressão

O modelo completo foi o seguinte:

$$Y = \hat{a}_0 + \hat{a}_1x_1 + \hat{a}_2x_2 + \hat{a}_3x_3 + \hat{a}_4x_4 + \hat{a}_5x_5 + \hat{a}_6x_6 + \hat{a}$$

em que:

Y- massa fresca dos tubérculos (MFT)

X₁ - número de folhas (NF)

X₂ - área foliar (AF)

X₃ - número de estolões (NE)

X₄ - número de tubérculos (NT)

X₅ - massa seca da parte aérea (MSPA)

X₆ - massa seca das raízes (MSR)

ε - erro aleatório

O resumo do modelo da análise foi o seguinte:

R^2	R^2 ajustado	Estimativa do erro padrão
0,877	0,834	0,4071

O resultado da análise indica que o coeficiente de determinação é ótimo (0,877), o que significa que os dados observados e a média dos mesmos não tiveram muita variação entre si.

A análise de variância mostrou que houve diferença significativa pelo teste F ao nível de 1% com respeito às variáveis em estudo. O detalhamento da análise de variância das variáveis NF, AF, NE, NT, MSPA, e MSR é apresentado na Tabela 34.

Tabela 34. Análise de variância do número de folhas (NF), área foliar (AF), número de estolões (NE), número de tubérculos (NT), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) do cv. Jatte-Bintje no experimento II

	Coeficiente não estandarizado		Coeficiente estandarizado	t	α
	β	Erro padrão	β		
(Constante)	$2,944 \times 10^{-5}$	0,083		0,000	1,000
NF	-0,614	0,960	-0,614	-6,418	0,000
AF	-0,077	0,216	-0,077	-0,356	0,726
NE	-0,214	0,125	-0,214	-1,713	0,105
NT	0,118	0,125	0,118	0,948	0,357
MSPA	0,913	0,204	0,913	4,476	0,000
MSR	0,362	0,149	0,362	2,423	0,027

Pode-se observar que as variáveis NF, MSPA, e MSR foram significativas. Ajustando o modelo considerando unicamente as variáveis significativas temos:

$$Y = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 x_1 + \hat{a}_3 x_3 + \hat{a}_5 x_5 + \hat{a}_6 x_6 + \hat{a}$$

em que:

Y - massa fresca dos tubérculos (MFT)

X₁ - número de folhas (NF)

X₃ - número de estolões (NE)

X₅ - massa seca da parte aérea (MSPA)

X₆ - massa seca das raízes (MSR)

ε - erro aleatório

O resultado desse modelo foi o seguinte:

R ²	R ² ajustado	Estimativa do erro padrão
0,865	0,837	0,4038

O coeficiente de determinação foi de 0,84 o que indica que o modelo explica boa parte dos dados das variáveis em estudo.

A análise de variância pelo teste F foi significativa ao nível de 1% com respeito às variáveis em estudo. O detalhamento da análise de variância das variáveis NF, NE, MSPA, e MSR apresenta-se na Tabela 35.

Tabela 35. Análise de variância de número de folhas (NF), número de estolões (NE), massa seca da parte aérea (MSPA), e massa seca das raízes (MSR) do cv. Jatte-Bintje no experimento II

	Coeficiente não estandarizado		Coeficiente estandarizado	t	α
	β	Erro padrão	β		
(Constante)	3,313x10 ⁻⁵	0,082		0,000	1,000
NF	-0,625	0,094	-0,625	-6,621	0,000
NE	-0,290	0,105	-0,290	-2,763	0,012
MSPA	0,876	0,099	0,876	8,805	0,000
MSR	0,430	0,101	0,430	4,242	0,000

Na Tabela 35 observa-se que todas as variáveis foram significativas ao nível de confiança de 99%. Portanto essas variáveis são as que influenciam mais na massa fresca de tubérculos no cv. Jatte-Bintje.

4.3.6.3 Cultivar Monalisa

Na tabela do Anexo E pode-se observar que existe uma forte correlação positiva (0,977) entre a massa seca e a massa fresca dos tubérculos, fato que indica que podemos trabalhar com uma confiança de 99% nas análises com a massa fresca de tubérculos.

Análise de regressão

O modelo completo foi o seguinte:

$$Y = \hat{a}_0 + \hat{a}_1x_1 + \hat{a}_2x_2 + \hat{a}_3x_3 + \hat{a}_4x_4 + \hat{a}_5x_5 + \hat{a}_6x_6 + \hat{a}$$

em que:

Y - massa fresca dos tubérculos (MFT)

X₁ - número de folhas (NF)

X₂ - área foliar (AF)

X₃ - número de estolões (NE)

X₄ - número de tubérculos (NT)

X₅ - massa seca da parte aérea (MSPA)

X₆ - massa seca das raízes (MSR)

ε - erro aleatório

O resumo do modelo da análise foi o seguinte:

R ²	R ² ajustado	Estimativa do erro padrão
----------------	-------------------------	---------------------------

0,793	0,720	0,5295
-------	-------	--------

Pode-se observar um coeficiente de determinação de 0,793, considerado razoavelmente bom. A análise de variância mostrou que houve diferença significativa pelo teste F ao nível de 1%. Pode-se observar um bom ajuste do modelo considerando uma significância de 5% no detalhamento da análise de variância das variáveis em estudo que é apresentada na Tabela 36.

Tabela 36. Análise de variância do número de folhas (NF), área foliar (AF), número de estolões (NE), número de tubérculos (NT), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca das raízes (MSR) do cv. Monalisa no experimento II

	Coeficiente não estandarizado		Coeficiente estandarizado	t	α
	β	Erro padrão	β		
(Constante)	$1,711 \times 10^{-6}$	0,108		0,000	1,000
NF	-0,403	0,141	-0,403	-2,857	0,011
AF	0,720	0,173	0,720	4,164	0,001
NE	-0,150	0,124	-0,150	-1,214	0,241
NT	0,307	0,151	0,307	2,038	0,057
MSPA	0,099	0,136	0,099	0,723	0,479
MSR	0,070	0,164	0,070	0,429	0,673

Pode-se observar que as variáveis NF, AF, e NT foram significativas a 95% de confiança. Assim, ajustando o modelo considerando somente as variáveis significativas temos:

$$Y = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 x_1 + \hat{a}_2 x_2 + \hat{a}_4 x_4 + \hat{a}_5$$

em que:

Y - massa fresca dos tubérculos (MFT)

X_1 - número de folhas (NF)

X_2 - área foliar (AF)

X_4 - número de tubérculos (NT)

ε - erro aleatório

O resultado desse modelo foi o seguinte:

R^2	R^2 ajustado	Estimativa do erro padrão
0,770	0,736	0,5138

Pode-se observar um coeficiente de determinação de 0,770, considerado razoavelmente bom, significando que o modelo explica boa parte das variáveis.

A análise de variância mostrou que houve diferença significativa pelo teste F ao nível de 1%. Pode-se observar um bom ajuste do modelo considerando uma significância de 5% no detalhamento da análise de variância das variáveis em estudo, que é apresentada na Tabela 37.

Tabela 37. Análise de variância de número de folhas (NF), área foliar (AF) e número de tubérculos (NT) do cv. Monalisa no experimento II

	Coeficiente não estandarizado		Coeficiente estandarizado	t	α
	β	Erro padrão	β		
(Constante)	$-1,21 \times 10^{-6}$	0,105		0,000	1,000
NF	-0,381	0,133	-0,381	-2,874	0,009
AF	0,806	0,143	0,806	5,634	0,000
NT	0,350	0,118	0,350	2,957	0,008

Na Tabela 37 observa-se que todas as variáveis foram significativas ao 99% de nível de confiança. Portanto essas variáveis são as que influenciam mais na massa fresca do tubérculo no cv. Monalisa.

4.3.7 Análise de variância e comparações múltiplas da produtividade das três cultivares referente às dosagens de CO_2

4.3.7.1 Cultivar Atlantic

Modelo proposto para Análise de variância

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

em que:

$i=1,2,3$ $j=1,2,3,4$

y_{ij} - ij-ésima observação;

μ - parâmetro comum a todos os tratamentos denominado de média global;

τ_i - parâmetro único para o i-ésimo tratamento; e

ε_{ij} - componente aleatório do erro.

Pode-se observar nos Anexos G e H a análise exploratória com o teste de homogeneidade, assim como as análises dos resíduos, onde se verifica que os pressupostos do modelo estão sendo satisfeitos.

A análise de variância para a variável produção total de batata (Tabela 38) indica que não houve diferença significativa, pelo teste F, entre as dosagens de CO₂ ao nível de 5%.

Tabela 38. Análise de variância de produção total de batata cv. Atlantic em função das doses de CO₂ no experimento II

	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	α
Entre dosagens	59,140	2	29,570	3,177	0,090
Dentro de dosagens	83,756	9	9,306		
Total	142,896	11			

Se for considerada a um nível de 10%, podemos ter evidências de diferença significativa entre os níveis das dosagens com respeito à produção total.

Na Tabela 39 apresenta-se a análise de comparações múltiplas considerando o método de Tukey.

Tabela 39. Análise de comparações múltiplas de batata cv. Atlantic entre as doses de CO₂ no experimento II

Tukey HSD	I (Dose)	J (Dose)	Diferença de médias (I-J)	Erro padrão	α
	Dose 1	Dose 2	4,8600	2,157	0,115
		Dose 3	4,5425	2,157	0,143
	Dose 2	Dose 1	-4,8600	2,157	0,115
		Dose 3	-0,3175	2,157	0,988
	Dose 3	Dose 1	-4,5425	2,157	0,143
		Dose 2	0,3175	2,157	0,988

Pode-se observar uma forte evidência de diferença significativa da dose 1 com as doses 2 e 3 com respeito a produção total a um nível de 15% de significância. Já entre as doses 2 e 3 não existe variação alguma.

4.3.7.2 Cultivar Jatte-Bintje

Nos Anexos I e J pode-se observar a análise exploratória, onde se verifica que os pressupostos do modelo estão sendo satisfeitos.

A análise de variância para a produção total de batata do cultivar Jatte-Bintje (Tabela 40) mostra que houve diferença significativa, pelo teste F, entre as dosagens de CO₂ ao nível de 5 %.

Tabela 40. Análise de variância de produção total de batata cv. Jatte-Bintje em função das doses de CO₂ no experimento II

	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	α
Entre dosagens	46,359	2	23,180	17,008	0,001
Dentro de dosagens	12,266	9	1,363		
Total	58,625	11			

O detalhamento da análise, por meio de comparações múltiplas pelo teste de Tukey, é apresentado na Tabela 41.

Tabela 41. Análise de comparações múltiplas de batata cv. Jatte-Bintje entre as doses de CO₂ no experimento II

Tukey HSD	I (Dose)	J (Dose)	Diferença de médias (I-J)	Erro padrão	α
	Dose 1	Dose 2	3,2100*	8,25	0,009
		Dose 3	4,7125*	8,25	0,001
	Dose 2	Dose 1	-3,2100*	8,25	0,009
		Dose 3	1,5025	8,25	0,218
	Dose 3	Dose 1	-4,7125*	8,25	0,001
		Dose 2	-1,5025	8,25	0,218

Pode-se observar que existe diferença significativa entre a dose 1 e a dose 2 e entre a dose 1 e a dose 3 com respeito a produção total a um nível de 5% de significância, enquanto as doses 2 e 3 não variaram significativamente entre si.

4.3.7.3 Cultivar Monalisa

A análise gráfica dos resíduos, apresentada nos Anexos K e L permite afirmar que as pressuposições de normalidade (pelos intervalos dos resíduos padronizados) e também de homogeneidade de variâncias foram satisfeitos.

A análise de variância para a produção total de batata do cultivar Monalisa (Tabela 42) mostra que não houve diferença significativa, pelo teste F, entre as dosagens de CO₂ ao nível de 5%.

Tabela 42. Análise de variância de produção total de batata cv. Monalisa em função das doses de CO₂ no experimento II

	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	α
Entre dosagens	39,105	2	19,552	2,834	0,111
Dentro de dosagens	62,083	9	6,898		
Total	101,188	11			

O detalhamento da análise, por meio de comparações múltiplas pelo teste de Tukey, é apresentado na Tabela 43.

Tabela 43. Análise de comparações múltiplas de batata cv. Monalisa entre as doses de CO₂ no experimento II

Tukey HSD	I (Dose)	J (Dose)	Diferença de médias (I-J)	Erro padrão	α
	Dose 1	Dose 2	4,0200	18,57	0,131
		Dose 3	3,6050	18,57	0,183
	Dose 2	Dose 1	-4,0200	18,57	0,131
		Dose 3	-0,4150	18,57	0,973
	Dose 3	Dose 1	-3,6050	18,57	0,183
		Dose 2	0,4150	18,57	0,973

Pode-se observar que se considerarmos um nível de confiança de 85% teríamos fortes evidências de que existe diferença significativa entre as dose 1 e dose 2 com respeito a produção total.

4.3.8 Produtividade total dos tubérculos

Os valores de produtividade encontrados para os cultivares (Tabela 44) que não receberam tratamento com CO₂ variaram entre 19,12 a 22,09 t ha⁻¹. Comparando-se a produtividade das médias dos cultivares de batata observa-se que o cultivar Monalisa apresentou o maior valor (19,55 t ha⁻¹) em média independente das dosagens de CO₂, seguido pelo cultivar Jatte-Bintje que não diferiu significativamente entre si, e o cultivar Atlantic apresentou o menor valor (15,89 t ha⁻¹) em média.

Verifica-se pela Tabela 44 que para os três cultivares foi observada diferença estatisticamente significativa entre a produtividade da amostra não tratada e a produtividade das amostras tratadas com CO₂. A aplicação das dosagens de CO₂ tendeu a reduzir a produtividade nos três cultivares, sendo que

as aplicações de CO₂ não apresentaram diferença estatística significativa entre si.

Tabela 44. Médias originais de produtividade total nas três cultivares de batata em função das doses de CO₂ no experimento II

Tratamentos	Produtividade total de batata (t ha ⁻¹)		
	Atlantic	Jatte-Bintje	Monalisa
T1	19,12a	20,67a	22,09a
T2	14,12b	17,46b	18,07b
T3	14,44b	15,96b	18,48b
Média	15,89B	18,03A	19,55A

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas colunas e letras maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 %

Na Figura 37 é apresentada o gráfico das médias de produtividade dos três cultivares em função das três dosagens, onde se observa que com a dose 1 (sem aplicação de CO₂) a produtividade de batata foi superior, nos três

Figura 37 – Curvas das médias de produtividade dos cultivares de batata em função das doses de CO₂ (T1-0; T2- 145,36; T3-290,72 kg ha⁻¹) no experimento II

cultivares, aos tratamentos com aplicação de CO₂, indicando, que a medida em que se incrementa as doses de CO₂, a produtividade tende a diminuir nos três cultivares.

4.3.9 Classificação comercial de batata dos três cultivares referente às três dosagens de CO₂

O quadro de análise de variância mostrou que não houve diferença significativa, pelo teste F, entre os níveis de CO₂ ao nível de 5% dentro de cada classe. Entretanto, houve diferença significativa entre os cultivares ao nível de 5%, assim como entre classes, independente das doses de CO₂. O detalhamento da análise, por meio do teste de Tukey, está apresentado na Tabela 45.

Tabela 45. Médias originais da classificação comercial e descarte (%) dos cultivares de batata no experimento II

Cultivares	classificação comercial da batata				Descarte
	Especial	Primeira	Segunda	Miudinha	
Atlantic	89,89a	8,28c	1,24c	0,23c	0,36b
Jatte-Bintje	51,42c	33,31a	8,54a	1,41a	5,32a
Monalisa	79,51b	16,75b	2,46b	0,62b	0,66b

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 %

Observa-se na Tabela 45 que quase 90% da produção do cultivar Atlantic correspondeu à classificação especial e um pouco mais de 8% à primeira. Este mesmo comportamento foi observado no cultivar Monalisa. Já no cultivar Jatte-Bintje, 50% da produção esteve na classificação especial e um pouco mais de 30% foi classificado como de primeira.

A Figura 38 permite visualizar o comportamento da classificação percentual nos três cultivares de batata.

Figura 38 – Classificação comercial dos cultivares de batata (%)

4.3.10 Características tecnológicas dos tubérculos

4.3.10.1 pH dos tubérculos

O índice pH avalia fundamentalmente a possibilidade de ocorrer deterioração do alimento pelo desenvolvimento de microrganismos e também determina a atividade das enzimas presentes no mesmo (Cecchi, 1999). Quanto mais elevado o valor de pH, menor a probabilidade de ter ocorrido fermentação (Lehninger, 1988).

Os valores de pH (Tabela 46) dos tubérculos dos cultivares de batata sem aplicação de CO₂ variaram entre 6,43 e 6,50. Tais valores são superiores aos encontrados na literatura. Paschoalino et al. (1983) avaliaram seis cultivares de batata, obtendo uma oscilação nos valores de pH entre 5,1 a 6,2. Já Feltran (2002), encontrou valores de pH 5,57 para 'Bintje' e 5,68 para 'Itararé'. Os valores

de pH encontrados no presente experimento indicaram que os tubérculos se encontravam em bom estado de conservação.

Tabela 46. Valores médios de pH dos tubérculos para os cultivares de batata utilizados segundo diferentes tratamentos (T1 - 0; T2 - 145,36; T3 - 290,72 kg ha⁻¹ de CO₂)

Tratamento	Atlantic	Jatte-Bintje	Monalisa
T1	6,43a	6,46a	6,50a
T2	6,46a	6,49a	6,46a
T3	6,46a	6,40a	6,57a
Médias	6,45A	6,45A	6,51A

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%

Os tubérculos dos diferentes cultivares apresentaram valores de pH que não diferiram significativamente entre si, pelo teste F, em nível de 5%. Dentro de cada cultivar também não foi observada diferença estatisticamente significativa entre as amostras não tratadas ou tratadas com diferentes dosagens de CO₂.

4.3.10.2 Acidéz titulável

Os ácidos orgânicos, dentre outros componentes dos vegetais, contribuem grandemente para o sabor e odor dos alimentos (Donnelly et al., 2001c).

A acidez titulável (Tabela 47) apresentada pelos tubérculos de batata dos três cultivares sem o tratamento com o CO₂ variaram entre 0,184 e 0,201%. Estes valores são ligeiramente superiores aos encontrados por Feltran (2002), que foram 0,170; 0,160; 0,165% de acidez titulável para as cultivares Aracy, Bintje e Itararé, respectivamente.

Tabela 47. Valores médios de acidez titulável dos tubérculos para os cultivares de batata utilizados segundo diferentes tratamentos (T1 - 0; T2 - 145,36; T3 - 290,72 kg ha⁻¹ de CO₂)

Tratamento	Acidez titulável (% ác. cítrico)		
	Atlantic	Jatte-Bintje	Monalisa
T1	0,194a	0,201a	0,184a
T2	0,193a	0,185a	0,175a
T3	0,176a	0,223a	0,168a
Médias	0,188 A	0,203 A	0,176 A

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%

Os tubérculos de batata apresentaram valores de acidez titulável que não diferiram significativamente entre os cultivares, embora a escala de variação tenha sido Jatte-Bintje (0,203%) seguida pelo Atlantic (0,188%) e Monalisa (0,176%).

4.3.10.3 Firmeza

A firmeza é um parâmetro de qualidade importante, contribuindo para a textura dos alimentos. Os valores de firmeza encontrados para os cultivares (Tabela 48) que não receberam tratamento com CO₂ variaram entre 20,41x10⁵ a 21,14x10⁵ N.m⁻². Feltran (2002) reportou para os cultivares de batata Aracy, Bintje e Itararé uma textura de 820, 753, e 832 gf, respectivamente, avaliados por outro instrumento de medida.

Tabela 48. Valores médios de firmeza dos tubérculos para os cultivares de batata utilizados segundo diferentes tratamentos (T1 - 0; T2 - 145,36; T3 - 290,72 kg ha⁻¹ de CO₂)

Tratamento	Firmeza [N.m ⁻² (x10 ⁵)]		
	Atlantic	Jatte-Bintje	Monalisa
T1	20,41a	21,14a	20,44b
T2	20,26a	21,18a	21,06a
T3	19,58b	20,84a	18,77c
Médias	20,08B	21,05A	20,09B

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%

Comparando-se a firmeza das médias dos cultivares de batata observa-se que o cultivar Jatte-Bintje apresentou os maiores valores ($21,05 \times 10^5 \text{ N.m}^{-2}$) em média e os cultivares Monalisa e Atlantic os menores valores ($20,09 \times 10^5$; $20,08 \times 10^5 \text{ N.m}^{-2}$ em média, respectivamente).

Verifica-se pela Tabela 48 que para o cv. Jatte-Bintje não foi observada diferença estatisticamente significativa entre a firmeza da amostra não tratada e a firmeza das amostras tratadas com dosagens de CO_2 . Para os cultivares Monalisa e Atlantic, entretanto, houve diferença significativa (nível de 5%) para a firmeza dos tubérculos tratados com diferentes doses de CO_2 . A aplicação de maior dosagem de CO_2 tendeu a reduzir a firmeza dos tubérculos destes 2 cultivares.

4.3.10.4 Sólidos solúveis totais

Os teores de sólidos solúveis totais (Tabela 49) apresentados pelos tubérculos de batata dos três cultivares sem o tratamento com o CO_2 variaram entre 5,12 a 6,38%. O valor de 6,38% do cv. Jatte-Bintje se assemelha ao encontrado por Paschoalino et al. (1983) que foi de $6,3 \pm 0,5$ e é superior ao encontrado por Feltran (2002) que foi de 5,19% para o cv. Bintje.

Tabela 49. Sólidos solúveis totais dos tubérculos dos cultivares de batata produzidos sob diferentes tratamentos (T1 - 0; T2 - 145,36; T3 - 290,72 kg ha^{-1} de CO_2)

Tratamento	Sólidos solúveis totais (%)		
	Atlantic	Jatte-Bintje	Monalisa
T1	5,88a	6,38a	5,12a
T2	6,02a	6,26a	5,58a
T3	5,93a	5,97a	5,72a
Médias	5,94A	6,20A	5,47B

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%

A análise de variância para a variável sólidos solúveis totais (Tabela 49) indica que houve diferença significativa (nível de 5%), pelo teste F, entre as médias dos cultivares de batata testados. O cultivar Monalisa apresentou a menor média de percentual de sólidos solúveis totais e os cultivares Jatte-Bintje e Atlantic as maiores médias.

O teor de sólidos solúveis totais dos cultivares de batata estudadas não foi afetado significativamente pelo tratamento com CO₂, muito embora pela Figura 39 possa se visualizar que a tendência dos cultivares frente à aplicação deste composto se mostra diferenciada e a maior dosagem conduz a teores de sólidos mais próximos entre si.

Figura 39 – Percentuais de sólidos solúveis totais (SST) dos cultivares de batata em função dos tratamentos (T1 - 0; T2 - 145,36; T3 - 290,72 kg ha⁻¹ de CO₂)

4.3.10.5 Cor da polpa

Os valores obtidos para os parâmetros de cor dos tubérculos são apresentados nas Tabelas 50, 51, e 52. A análise de variância para a cor de polpa dos tubérculos de batata indica que houve diferença significativa, pelo teste

F, entre as médias dos cultivares de batata para as variáveis b^* e a^* , em nível de 5%. Ocorreram também diferenças significativas entre as dosagens de CO_2 utilizadas para as variáveis L^* e b^* .

Tabela 50. Valores médios de luminosidade (L^*) da polpa dos tubérculos de cultivares de batata produzidas sob diferentes tratamentos (T1 - 0; T2 - 145,36; T3 - 290,72 kg ha^{-1} de CO_2)

Tratamento	Luminosidade da polpa dos tubérculos		
	Atlantic	Jatte-Bintje	Monalisa
T1	68,82b	66,80b	69,41a
T2	72,06a	68,54b	69,73a
T3	69,39b	70,13a	68,27a
Médias	70,09A	68,49A	69,14A

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%
Sendo: L (escala de 0 a 100)

Os valores de luminosidade da polpa dos tubérculos de batata não tratados com CO_2 variaram entre 66,80 e 69,41. Estes valores indicam que a coloração da polpa, numa escala de 0 a 100, apresentou tendência mais para o claro que para escuro, conforme o esperado para estes vegetais.

Ao se comparar as médias dos cultivares de batata observa-se que a variável L^* nos três cultivares não variou significativamente. Entretanto, pela Tabela 50, dentro dos cultivares, observa-se efeito do nível de aplicação de CO_2 para os cultivares Atlantic e Jatte-Bintje. A menor dosagem (145,36 kg ha^{-1}) de CO_2 tornou os tubérculos do cv. Atlantic mais claros que os demais tratamentos e a dosagem maior (290,72 kg ha^{-1}) de CO_2 conferiu maior claridade à polpa no caso do cv. Jatte-Bintje.

Os valores da variável a^* dos tubérculos de batata sem tratamento com CO_2 variaram entre -3,32 e -2,42 (Tabela 51). Estes valores indicam que este parâmetro de cor da polpa dos tubérculos, numa escala de -60 a +60, se situa bem próximo de zero, com pequena tendência para o verde.

Tabela 51. Valores médios do parâmetro a^* da polpa dos tubérculos dos cultivares de batata produzidos sob diferentes tratamentos (T1 - 0; T2 - 145,36; T3 - 290,72 kg ha⁻¹ de CO₂)

Tratamento	Valores médios de a^* da polpa dos tubérculos		
	Atlantic	Jatte-Bintje	Monalisa
T1	-2,42a	-2,85a	-3,32a
T2	-2,57a	-3,01a	-3,17a
T3	-2,51a	-3,06a	-3,06a
Médias	-2,50A	-2,97B	-3,18B

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%

Sendo: a^* (escala de -60 verde a +60 vermelho)

Comparando as médias dos cultivares de batata observa-se pela Tabela 51 que o cultivar Atlantic apresentou menores valores de verde que os demais cultivares, que não se diferenciaram significativamente entre si.

Comparado-se os valores de a^* dentro dos três cultivares de batata verifica-se que não foi observada diferença estatisticamente significativa entre a amostra não tratada e as tratadas com diferentes dosagens de CO₂.

Os valores de b^* (Tabela 52) dos tubérculos de batata sem tratamento com CO₂ variaram entre +16,26 e +22,41. Estes valores indicam que a polpa, numa escala de -60 a +60, apresentou maior tendência para o amarelo, conforme esperado.

Comparando as médias dos cultivares de batata observa-se que os menores valores de b^* (menor tonalidade amarela) foram apresentados pelo cultivar Monalisa e os maiores valores (maior intensidade de amarelo) para os cultivares Jatte-Bintje e Monalisa, que não diferiram significativamente entre si.

Tabela 52. Valores médios do parâmetro b^* da polpa dos tubérculos dos cultivares de batata produzidos sob diferentes tratamentos (T1 - 0; T2 - 145,36; T3 - 290,72 kg ha⁻¹ de CO₂)

Tratamento	Valores médios de b^* da polpa dos tubérculos		
	Atlantic	Jatte-Bintje	Monalisa
T1	16,26a	21,17b	22,41a
T2	16,92a	21,87b	22,80a
T3	17,12a	22,60a	21,94a
Médias	16,77B	21,88A	22,38A

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%
Sendo: b^* (escala de -60 azul a +60 amarelo)

Os cultivares Atlantic e Monalisa não apresentaram alteração estatisticamente significativa para os valores de b^* com os diferentes tratamentos. No entanto, o cultivar Jatte-Bintje apresentou maior intensidade de amarelo nos tubérculos produzidos com aplicação da maior dose de CO₂ (290,72 kg ha⁻¹). Neste cultivar, a menor média de b^* foi registrado para a amostra sem aplicação de CO₂, seguida da dose mais baixa de CO₂, mas que não diferiram significativamente entre si.

4.3.10.6 Matéria seca

Os teores médios de matéria seca dos tubérculos de batata (Tabela 53) sem tratamento com CO₂ variaram entre 18,35 e 21,90%. O valor encontrado para o cv. Jatte-Bintje (19,4%) é ligeiramente superior ao encontrado por Feltran (2002) para o cv. Bintje, que foi 17,9%. Considerando o agrupamento sugerido por Cacace et al. (1994) o cultivar Atlantic pode ser classificado como sendo de alto conteúdo de matéria seca. Já os cultivares Jatte-Bintje e Monalisa são considerados como de conteúdo intermediário de matéria seca.

Tabela 53. Teores médios de matéria seca (%) dos tubérculos dos cultivares de batata produzidos por diferentes tratamentos (T1 - 0; T2 - 145,36; T3 - 290,72 kg ha⁻¹ de CO₂)

Tratamento	Teores médios de matéria seca dos tubérculos		
	Atlantic	Jatte-Bintje	Monalisa
T1	21,90a	19,35a	18,35ab
T2	22,00a	20,00a	18,85 a
T3	21,85a	19,30a	17,70 b
Médias	21,92A	19,55B	18,30C

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%

A análise de variância para a variável matéria seca dos tubérculos indica que houve diferença significativa, pelo teste F, entre as médias dos cultivares de batata em nível de 5%. Pela Tabela 53, os valores de matéria seca do cultivar Atlantic foram superiores, os do cv. Monalisa foram os menores teores e os do cv. Jatte-Bintje intermediários.

Dentro dos cultivares de batata, apenas no Monalisa observa-se variação significativa dos valores de matéria seca dos tubérculos com os diferentes tratamentos. Obteve-se a maior média com a dose 2 (145,36 kg ha⁻¹ de CO₂) e a menor média de matéria seca com a dose 3 (290,72 kg ha⁻¹ de CO₂); entretanto, ambos não se diferenciaram significativamente da dose 1 (sem aplicação de CO₂).

4.3.10.7 Açúcares redutores

Os teores médios de açúcares redutores (Tabela 54) dos tubérculos de batata sem tratamento com CO₂ variaram entre 1,64 e 2,28%. Estes valores são superiores aos encontrados por Paschalino et al. (1983) que foram de 1,1 ± 0,2 e 1,1 ± 0,3% (base seca) nos cultivares Bintje e Aracy, respectivamente. Já Feltran (2002), encontrou valores de 0,55; 0,51; 0,32% de açúcares redutores (base fresca) nos cultivares Aracy, Bintje, e Itará, respectivamente.

Tabela 54. Teor de açúcares redutores dos tubérculos dos cultivares de batata produzidos por diferentes tratamentos (T1 - 0; T2 - 145,36; T3 - 290,72 kg ha⁻¹ de CO₂)

Tratamento	Teor médio de açúcares redutores (% base seca)		
	Atlantic	Jatte-Bintje	Monalisa
T1	1,64a	2,02b	2,28a
T2	1,55a	2,64a	2,20a
T3	1,89a	2,18b	2,52a
Médias	1,69B	2,28A	2,33A

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%

Os cultivares Jatte-Bintje e Monalisa, segundo Pereira (1987), por apresentarem teor de açúcares redutores (base seca) acima de 2%, seriam consideradas como inaceitáveis para processamento, enquanto que o cultivar Atlantic seria considerado como adequada para frituras por apresentar teor de açúcares redutores menor que 2%.

A análise de variância para açúcares redutores dos tubérculos indica que houve diferença significativa, pelo teste F, entre as médias dos cultivares de batata em nível de 5%. Comparando as médias dos cultivares observa-se que o cultivar Atlantic apresentou a menor média de açúcares redutores enquanto que os cultivares Monalisa e Jatte-Bintje apresentaram as maiores médias de açúcares redutores.

Entretanto, apenas para o cultivar Jatte-Bintje houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo a maior média obtida para os tubérculos tratados com a dose 2 (145,36 kg ha⁻¹ de CO₂) e as menores médias com as doses 1 e 3, que não diferiram significativamente entre si. Donnelly et al. (2001c) não encontraram diferença significativa no conteúdo de açúcares totais no cv. Bintje com enriquecimento de CO₂, reportaram entretanto aumento no conteúdo de glicose.

4.3.10.8 Amido

Os teores médios de amido (Tabela 55) dos tubérculos de batata sem tratamento com CO₂ variaram entre 66,79 e 75,40%. O valor encontrado para o cultivar Jatte-Bintje é superior ao encontrado por Feltran (2002) para o cv. Bintje, que foi de 64,1% de amido (base seca). Esta diferença pode ser em parte, devido a metodologia utilizada.

Tabela 55. Teor de amido (%) dos tubérculos dos cultivares de batata produzidos por diferentes tratamentos (T1 - 0; T2 - 145,36; T3 - 290,72 kg ha⁻¹ de CO₂)

Tratamento	Teores médios de amido dos tubérculos (base seca)		
	Atlantic	Jatte-Bintje	Monalisa
T1	75,40ab	71,21ab	66,79a
T2	72,64 b	71,55 a	70,93a
T3	77,20 a	66,94 b	68,03a
Médias	75,08A	69,90B	68,59B

Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas colunas e por letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5%

A análise de variância para teor de amido presente nos tubérculos indica que houve diferença significativa, pelo teste F, entre as médias dos cultivares de batata em nível de 5%. Verifica-se que o cultivar Atlantic apresentou os maiores teores de amido dentre os cultivares de batata estudados. Este cultivar também apresentou os menores teores de açúcares redutores. Os cultivares Jatte-Bintje e Monalisa apresentaram teores inferiores de amido e que não foram significativamente diferentes entre si.

O cultivar Monalisa não apresentou diferença significativa entre os tratamentos do experimento, já os cultivares Atlantic e Jatte-Bintje apresentaram diferença significativa, embora sem tendência definida. Assim, no cultivar Atlantic

a dose 3 acarretou a maior média e a dose 2 a menor média de amido, que não diferenciaram-se significativamente da dose 1. Enquanto que no cultivar Jatte-Bintje essa ordem foi invertida, apresentando a maior média com a dose 2 e a menor média com a dose 3, que também não foram significativamente diferentes da dose 1. Comparativamente Donnelly et al. (2001c) observaram incremento no conteúdo de amido com a dose de $399 \mu\text{mol mol}^{-1}$ de CO_2 no cv. Bintje. Portanto, cada cultivar responde aos tratamentos de maneira diferente quanto a variação do teor de amido.

O aumento do teor de amido nos tubérculos pela elevação dos níveis de CO_2 pode ser atribuído, segundo Donnelly et al. (2001a,b), à combinação do incremento de área foliar e dos níveis fotossintéticos instantâneos, aumentando dessa forma, a disponibilidade de assimilados e o armazenamento dos mesmos nos tubérculos.

5 CONCLUSÕES

Considerando as condições em que foi conduzido o experimento, concluiu-se que:

- A concentração de $1.210 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ e $1.094,44 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de DFFFA acarretou maior incremento na fotoss\u00edntese do cultivar Itararé;
- O cultivar Itararé n\u00e3o apresentou varia\u00e7\u00e3o de produtividade total com o aumento das doses de CO_2 ;
- Mais de 50% da produ\u00e7\u00e3o comercial do cultivar Itararé foi classificada como classe especial independente das doses de CO_2 ;
- Os s\u00f3lidos sol\u00faveis totais nos tub\u00e9rculos do cultivar Itararé decresceram com o aumento das doses de CO_2 ;
- A produtividade total de batata dos cultivares Atlantic, Jatte-Bintje e Monalisa diminuiu com doses crescentes de CO_2 ;
- O cultivar Atlantic apresentou menor produtividade do que os cultivares Monalisa e Jatte-Bintje, respectivamente, independente das doses de CO_2 ;
- O cultivar Atlantic apresentou maior percentagem de tub\u00e9rculos de classe especial em rela\u00e7\u00e3o aos cultivares Monalisa e Jatte-Bintje, respectivamente, independente da quantidade de CO_2 aplicado;
- Houve efeitos das doses de CO_2 sobre a firmeza dos tub\u00e9rculos nos cultivares Atlantic e Monalisa;

- Houve aumento de teor de açúcares no cultivar Jatte-Bintje com a aplicação de CO₂;
- Os cultivares Atlantic e Jatte-Bintje apresentaram variação do teor de amido com a aplicação de CO₂;
- Os valores de pH do solo sofreram um decréscimo temporário durante a aplicação de CO₂ via água de irrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTHOFF, D. A.; SILVA, A. C. F. da. O efeito da irrigação na cultura da batata no litoral sul catarinense, **Agropecuária Catarinense**, v.11, n.4, p.27-32, 1998.
- ABRÉU, J. M. H.; LOPEZ, J. R. **El riego localizado**. In: CURSO INTERNACIONAL DE RIEGO LOCALIZADO, Madrid: 1987. 317p.
- ANGELOCCI, L.R. Aquisição do gás carbônico pelas plantas: mecanismos bioquímicos. Piracicaba: ESALQ, Depto. de Ciências Exatas, 2000. 11p.
- ARAÚJO, W.F. Aplicação de água carbonatada em abobrinha cultivada em solo com e sem cobertura plástica. Piracicaba, 2002. 86p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- ARTECA, R.N.; POOVAIAH, B.W. Absorption of $^{14}\text{CO}_2$ by potato roots and its subsequent translocation. **Journal of the American Society Horticultural Science**, v.107, n.3, p.398-401, 1982a.
- ARTECA, R.N.; POOVAIAH, B.W. Changes in phosphoenolpyruvate carboxylase and ribulose-1,5,-bisphosphate carboxylase in *solanum tuberosum* L. as affected by root zone applications of CO_2 . **HortScience**, v.17, n.3, p.396-398, 1982b.

- ARTECA, R. N.; POOVAIAH, B. W.; SMITH, O. E. Changes in carbon fixation, tuberization, and growth induced by CO₂ applications to the root zone of potato plants. **Science**, v.205, n.21, p.1279-1280, 1979.
- BAKER, R. Trichoderma spp. As plant-growth stimulants. **Critical Reviews in Biotechnology**, v.7, n.2, p.97-106, 1988.
- BARON, J.J.; GORSKI, S.F. Resposta of eggplant to a root environment enriched with CO₂. **HortScience**, v.21, n.3, p.495-498, 1986.
- BAZZAZ, F.A.; JASIENSKI, M.; THOMAS, S.C.; WAYNE, P. Microevolutionary responses in experiental populations of plants to CO₂-enriched environments: parallel results from two model systems. **Proceedings National Academic Science**, v.92, p.8161-8165, 1995.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 5.ed. Viçosa: Biblioteca Central da Federal de Viçosa, 1989. 596p.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6.ed. Viçosa: Biblioteca Central da Federal de Viçosa, 1995. 657p.
- BURTON, W.G. **The potato**. 3.ed. Singapore: Longman Scientific & Technical, 1989. 742p.
- BUTTERY, B.R.; BUZZELI, R.I. Some differences between soybean cultivars observed by growth analisis. **Canadian Journal of Plant Science**, v.52, n.1, p.13-20, 1972.

- CACACE, J.E.; HUARTE, M.A.; MONTI, M.C. Evaluation of potato cooking quality in Argentina. **American Potato Journal**, v.71, n.3, p.145-153, 1994.
- CALDIZ, D.O. Genetic improvement and associated physiological changes en the potato. In: **Genetic improvement of field crops**. Slafer, G.A. (Ed.). New York: Marcel dekker, 1994. cap.4, p.361-411.
- CALDIZ, D.O.; GASPARI, F.J. Análisis de los factores determinantes del rendimiento en papa (*Solanum tuberosum*) com especial referencia a la situación Argentina. **Revista Facultad Agronomia**, v.102, n.2, p.203-229, 1997.
- CECCHI, H.M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Campinas: Unicamp, 1999. 212p.
- CLEGG, C.J.; WHITTINGHAM, C.P. Studies with inhibitors and exogenous substrates on dark CO₂ fixation. **Phytochemistry**, v.11, n.9, p.2683-2691, 1972.
- COKER, G.T.; SCHUBERT, K.R. Carbon dioxide fixation in soybean root and nodules. I. Characterization and comparison with N₂ fixation and composition of xylem exudate during early nodule development. **Plant Physiology**, v.67, n.4/6, p.691-696, 1981.
- COSTA, E. F. da; FRANÇA, G.E. de.; ALVES, V.M.C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Informe Agropecuário**, v.12, n.139, p.63-68, 1986.
- CRAMER, M.D.; OBERHOLZER, J.A.;COMBRINK, N.J.J. The effect of supplementation of root zone dissolved inorganic carbon on fruit yield and

quality of tomatoes (cv Daniela) grown with salinity. **Scientia Horticulturae**, v.89, n.4, p.269-289, 2001.

CURE, J.D.; ACOCK, B. Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey. **Agricultural Forest and Meteorology**, v.38, n.1/3, p.127-145, 1986.

CURTIS, P.S.; BALDUMAN, L.M.; DRAKE, B.G.; WHIGHAM, D.F. Elevated atmospheric CO₂ effects on belowground processes in C3 and C4 estuarine marsh communities. **Ecology**, v.71, n.5, p.2001-2006, 1990.

DIAS, C. A. C. **Cultura da batata**, Campinas: CATI, 1993. 33p. (Documento Técnico, 65).

DONNELLY, A.; CRAIGON, J.; BLACK, C.R.; COLLS, J.J.; LANDON, G. Does elevated CO₂ ameliorate the impact of O₃ on chlorophyll content and photosynthesis in potato (*Solanum tuberosum* L.). **Physiologia Plantarum**, v.111, n.4, p.501-511, 2001b.

DONNELLY, A.; CRAIGON, J.; BLACK, C.R.; COLLS, J.J.; LANDON, G. Elevated CO₂ increases biomass and tuber yield in potato even at high O₃ level. **New Phytologist**, v.149, n.2, p.265-274, 2001a.

DONNELLY, A.; LAWSON, T.; CRAIGON, J.; BLACK, C.R.; COLLS, J.J.; LANDON, G. Effects of elevated CO₂ and O₃ on tuber quality in potato (*Solanum tuberosum* L.). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.87, n.3, p.273-285, 2001c.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirement**. Roma: FAO; 1977, 144p. (FAO: Irrigation and Drainage paper, 24).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Roma: FAO; 1979, 193p. (FAO: Irrigation and Drainage paper, 33).

DURÃO, P. L.; GALVÃO, A. C. Gás carbônico em irrigação. **Ciência Hoje**, v.19, n.110, p.12-15, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE HORTALIÇAS, **Cultivo da Batata**, Brasília: 1997a, 35p. (EMBRAPA – CNPH, Instruções Técnicas, 8).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE HORTALIÇAS, **Manejo de água do solo no cultivo da batata**, Brasília: 1997b, 35p. (EMBRAPA – CNPH, Comunicado Técnico, 3).

EPAMIG - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS, Batata – Produtividade com qualidade. **Informe Agropecuário**, v.20, n.197, 128p. 1999.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUIROZ”. Departamento de Ciências Exatas. **Base de dados**. <http://ce.esalq.usp.br/dce/postocon.htm> (13 nov. 2002).

EZETA, F.N.; McCOLLUM, R.E. Dry-matter production and nutrient uptake and removal by *Solanum andigena* in the Peruvian Andes. **American Potato Journal**, v.49, n.4, p.151-163, 1972.

FAO, Food, Agriculture Organisation of the United Nations, **Production Yearbook**, p.50-61, 1996.

FAQUHAR, G.D.; DUBLE, D.R.; RASCHKE, K. Gain of the feedback loop involving carbon dioxide and stomat, theory and measurement. **Plant Physiology**, v.62, n.3, p.406-412, 1978.

FELTRAN, J. C. Determinação das características agronômicas, dos distúrbios fisiológicos, do estado nutricional da planta e da qualidade dos tubérculos em cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.). Botucatu, 2002. 117p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

FERRERES, E. **Drip irrigation management**. Berkeley: University of California, 1981. 39p.

FIELD, C.B.; CHAPIN III, F.S.; MATSON, P.A.; MOONEY, H.A. Responses of terrestrial ecosystems to the changing atmosphere: a resource-based approach. **Annual Review Ecological Systems**, v.23, p.201-235, 1992.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de Olericultura**, São Paulo: AGROCERES, 1982. v.2. 357p.

FILGUEIRA, F. A. R. Práticas culturais adequadas em bataticultura. **Informe Agropecuário**, v.20, n.197, p.34-41, 1999.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL 2000**, Anuário estatístico da Agricultura Brasileira, São Paulo, 2000. p.201-212: Batata.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL 2001**, Anuário estatístico da Agricultura Brasileira, São Paulo, 2001. p.201-212: Batata.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL 2002**, Anuário estatístico da Agricultura Brasileira, São Paulo, 2002. p.190-201: Batata.

FURLAN, R.A.; ALVES, D.R.B.; FOLEGATTI, M.V. et al. Dioxido de carbono aplicado via água de irrigação na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**, v.19, n.1, p.25-29, 2001.

GARANTINI, H.; BLANCO, H.B.; GALLO, J.R.; NÓBREGA, S. de A. Absorção de nutrientes pela batatinha, **Bragantia**, v.22, n.22, p.267-290, 1963.

GOMES, T.M. Efeito de CO₂ aplicado na água de irrigação e no ambiente sobre a cultura da alface (*Lactuca sativa* L.). Piracicaba, 2001. 83p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

GOTO, R.; TIVELLI, S.W. **Produção de Hortalças**, São Paulo: Editora UNESP, 1997. 319p.

GRIBBIN, J. The politics of carbon dioxide. **New Science**, v.90, p.82-84, 1981.

HAASE, N.U.; PLATE, J. Properties of potato starch in relation to varieties and environmental factors. **Starch-Stärke**, v.48, n.2, p.167-171, 1996.

- HAM, J. M.; OWENSBY, C. E.; COYNE, P.; BREMER, D. J. Fluxes of CO₂ and water vapor from a prairie ecosystem exposed to ambient and elevated atmospheric CO₂, **Agricultural Forest and Meteorology**, v.77, n.1/2, p.73-93, 1995.
- HARMAN, J.; WATKINS, C. Use of the refractometer to estimate the soluble solids in fresh fruit and vegetable. **The Orchardist of New Zealand**, v.54, n.1, p.35-37, 1981.
- HARTZ, T.K.; HOLT, D.B. Root-zone carbon dioxide enrichment in field does not improve tomato or cucumber yield. **HortScience**, v.26, n.11, p.1423, 1991.
- HAWKINS, A. Rate of absorption and translocation of mineral nutrients by potatoes in Aroostook County, Maine, and their relation to fertilizer practices. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.38, n.8, p.667-681, 1946.
- IDSO, K. E.; IDSO, S. B. Plant responses to atmospheric CO₂ enrichment in the face of environmental constraints: a review of the past 10 years' research. **Agricultural Forest and Meteorology**, v.69, n.3/4, p.153-203, 1994.
- JACKSON, R.D.; HADDOCK, J.L. Growth and mineral uptake of Russet Burbank Potatoes. **American Potato Journal**, v.36, n.1, p.22-28, 1959.
- JACKSON, W.A.; COLEMAN, N.T. Fixation of carbon dioxide by plant roots through phosphoenolpyruvate carboxylase. **Plant and Soil**, v.11, n.1, p.1-16, 1959.
- KADAM, S.S.; DHUMAL, S.S.; JAMBHALE, N.D. Structure, nutritional composition, and quality. In: SALUNKHE, D.K.; KADAM, S.S.; JADHAV, S.J.

Potato production, processing and products. Florida: CRC Press, 1991. p.9-35.

KARMELI, D.; KELLER, J. Evaluation of a Trickle irrigation System. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2, 1974, Riverside. Proceedings..., Riverside, 1974. p.287-292.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**, Glendora, California: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 133p.

KIMBALL, B.A. Carbon dioxide and agricultural yield: na assemblage and analysis of 430 prior observations. **Agronomy Journal**. v.75, n.5, p.779-788, 1983.

KIMBALL, B. A.; LaMORTE, R. L.; SEAY, R. S. et al. Effects of free air CO₂ enrichment on energy balance and evapotranspiration of cotton. **Agricultural Forest and Meteorology**, v.70, n.1/4, p.259-278, 1994.

KÖPPEN, W. **Climatología**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology**, 3.ed. Berlin: Springer – Verlag, 1995. 506p.

LEHNINGER, A.L. **Princípios de bioquímica**. São Paulo: Sarvier, 1988. 725p.

LINDHAUER, M.G.; DE FEKETE, M.A.R. Starch Synthesis in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers: activity of selectes enzymes in dependence of potassium content in storage tissue. **Plant and soil**, v.124, n.2, p.291 -295, 1990.

LINDROTH, R.L.; ROTH, S.; NORDHEIM, E.V. Genotypic variation in response of quaking aspen (*Populus tremuloides*) to atmospheric CO₂ enrichment. **Oecologia**, v.126, n.3, p.371-379, 2001.

LONG, S.P.; HALLGREN, J.E. Measurement of CO₂ assimilation by plants in the field and in the laboratory. In: HALL, D.O.; SCURLOCK, J.M.O.; BOLHAR-NORDEN KAMPF, H.R.; LEEGOOD, R.C.; LONG, S.P. **Photosynthesis and Laboratory Manual**. London: Chapman & Hall, 1993, p.129-167.

MAGALHÃES, J. R. **Nutrição e adubação da batata**, São Paulo: Nobel, 1985. 51p.

MANABE, S.; WETHERALD, R. T. Thermal equilibrium of the atmosphere whit a given distribution of relative humidity. **Journal Atmosfere Science**, v.24, p.241-259, 1967.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. de C.; SILVA, H. R. da. **Manejo da irrigação em hortaliças**. Brasília: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, 1994, 60p.

MAUNEY, J.R.; HENDRIX, D. L. Responses of glasshouse grown cotton to irrigation with carbon dioxide-saturated water. **Crop Science**, v.28, n.5, p.835-838, 1988.

MELLO JUNIOR, A. V.; SOUZA, V. F. de.; DANTAS NETO, J. Considerações sobre métodos de aplicação de produtos químicos através de sistema de irrigação localizada. **Engenharia Rural**, v.3, n.2, p.79-91, 1992.

MOORE, F.D. Potential for irrigation with carbon dioxide, **Acta Horticulturae**, n.278, v.1, p.171-178, 1990.

MORISON, J.I.L.; GIFFORD, R.M. Plant growth and water use with limited water supply in high CO₂ concentrations. I. Leaf area, water use and transpiration. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.11, n.5, p.361-374, 1984.

MORTENSEN, L.M. Review: CO₂ enrichment in greenhouses crop responses, **Scientia Horticulturae**, v.33, n.1, p.1-25, 1987.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Using subsurface trickle system for carbon dioxide enrichment. In: JENSEN, M.H.; OEBKER, N.F. AGRICULTURE PLASTICS CONGRESS, 15, **Proceedings**, Manchester: National Agricultural Plastics Association, 1980. p.13-18.

NIVAA. On the road to processing. [on line]. 2003. <http://www.nivaa.nl/index.html?pag=192> (05 maio 2003).

NOVERO, R.; SMITH, D.H.; MOORE, F.D. et al. Field grown tomato response to carbonated water application. **Agronomy Journal**, v.83, n.5, p.911-916, 1991.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.

PARRA, I. R. V. Fertilizantes solúveis e fertirrigação em algumas fruteiras do Chile. In: Folegatti, M.V.; Casarini, E.; Blanco, F.F.; Brasil, R.P.C do.;

Resende, R.S. (Coord.) **Fertirrigação**. Piracicaba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001. cap.5, p.163-200.

PASCHOALINO, J.E. Prevenção do escurecimento em batatas frescas descascadas e fatiadas. **ITAL**, v.23, n.2, p.189-197, 1993.

PAULA, M.B.; FONTES, P.C.R.; NOGUEIRA, F.D. Absorção de micronutrientes por cultivares de batata em presença e ausência de adubação. **Horticultura Brasileira**, v.4, n.2, p.3-8, 1986b.

PAULA, M.B.; FONTES, P.C.R.; NOGUEIRA, F.D. Produção de matéria seca e absorção de macronutrientes por cultivares de batata. **Horticultura Brasileira**, v.4, n.1, p.10-16, 1986a.

PEÑUELAS, J.; ESTIARTE, M. Can elevated CO₂ affect secondary metabolism and ecosystem function. **Trends Ecologic Evolution**, v.13, p.20-24, 1998.

PEREIRA, A.S. Composição química, valor nutricional e industrialização. In: REIFSCHNEIDER, F.J.B. (Coord.) **Produção de batata**. Brasília: Linha gráfica, 1987. p.12-28.

PETERSON, R.L.; BARKER, W.R.; HOWARTH, M.J. Development and structure of tubers. In: LI, P.H. (Ed.). **Potato Physiology**. Orlando: Academic Press, 1985. p.123-152.

PINTO, J. M. Aplicações de dióxido de carbono via água de irrigação em meloeiro. Piracicaba, 1997, 82p Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

POTVIN, C.; VASSEUR, L. Long-term CO₂ enrichment of a pasture community: species richness, dominance, and succession. **Ecology**, v.78, n.3, p.666-677, 1997.

RAMOS, A. Desenvolvimento vegetativo da pupunheira (*Bastris gasipaes* Kunth) irrigada por gotejamento em função de diferentes níveis de depleção de água no solo. Piracicaba, 1998. 66p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

RICKARD, J.E.; BEHN, K.R. Evaluation of acid and enzyme hydrolytic methods for the determination of cassava starch. **Journal of Science, Food and Agriculture**, v.41, n.4, p.373-379, 1987.

SAN JUAN, J. A. M. **Riego por Goteo**, 3. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1988. 256p.

SANCHES, O.F. **Efecto del enriquecimiento del microambiente com CO₂ en cultivo de melon em campo abierto**. México: Liquid Carbonic de México. 1992, 7p.

SANTOS, M.M.F.B. **Descrição de cultivares de batata**, Brasília: Secretaria de Produção Agropecuária, Coordenadoria de Sementes e Mudas, 1986. 40p.

SAXE, H.; ELLSWORTH, D.S. HEATH, J. Tree and forest functioning in a enriched CO₂ atmosphere. **New Phytology**, v.139, n.3, p.395-436, 1998.

SCHAPENDOK, A.H.C.M.; POT, C.S.; GOUDRIAAN, J. Simulated effects of elevated carbon dioxide concentration and temperature on the productivity of potato. Interaction with cultivar differences for earliness. In: Haverkort, D.

Potato ecology and modelling of Crops under conditions limiting growth, Dordrecht: Klumer Academic, 1995. cap.2, p.101-114.

SHALLENBERGER, R.S.; SMITH, O.; TREADWAY, R.H. Role of the sugars in the browning reaction in potato chips. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.7, p.274-277, 1959.

SOMOGY, M. A new reagent for the determination of sugars. **The Journal of Biological Chemistry**, v.160, n.1, p.61-68, 1945.

STILING, P.; MOON, D.C.; HUNTER, M.D.; COLSON, J.; ROSSI A.M.; HYMUS, G.J.; DRAKE, B.G. Elevated CO₂ lowers relative and absolute herbivore density across all species of a scrub-oak forest, **Oecologia**, v.134, n.1, p.82-87, 2003.

STOLWIJK, J.A.; THIMANN, K.V. On the uptake of carbon dioxide and bicarbonate by roots and its influence on growth. **Plant Physiology**, v.32, n.6, p.513-519, 1957.

STOREY, R.M.J.; DAVIES, H.V. Tuber quality In: HARRIS, P. **The potato crop. The scientific basis for improvement**, London: Chapman and Hall, 1992. p.507-570.

STORLIE, C.A.; HECKMAN, J.R. Soil, plant, and canopy responses to carbonated irrigation water. **Horticultural Technology**, v.6, n.2, p.111-114, 1996.

TOGNONI, F.; HALEVY, A.H.; WITTEWER. Growth of bean and tomato plants as affected by root absorbed growth substances and atmospheric carbon dioxide. **Planta**, v.72, p.43-52, 1967.

VESSEY, J. K.; HENRY, L. T.; RAPER JUNIOR, C. D. Nitrogen nutrition and temporal effects of enhanced carbon dioxide on Soybean growth. **Crop Science**, v.30, n.2, p.287-294, 1990.

WARD, J.K.; STRAIN, B.R. Elevated CO₂ studies: past, present and future. **Tree Physiology**, v.19, p.211-220, 1999.

WITHERS, B.; VIPOND, S. **Irrigação**, São Paulo: EDUSP, 1977. 339p.

YORINORI, G.T. Curva de crescimento e acúmulo de nutrientes pela cultura de batata cv. 'Atlantic'. Piracicaba, 2003. 66p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

ZANINI, J. R. Hidráulica de fertirrigação por gotejamento utilizando tanque de derivação de fluxo e bomba injetora. Piracicaba, 1987. 103p. Tese (Doutorando) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

ANEXOS

Anexo A. Correlação entre massa fresca dos tubérculos (MFT), massa seca dos tubérculos (MST), número de folhas (NF), número de tubérculos (NT), massa seca da parte aérea (MSPA), e massa seca das raízes (MSR) do cv. Atlantic no experimento II

	MFT	MST	NF	AF	NE	NT	MSPA	MSR
MFT corr.Pearson	1,000	0,977**	0,090	0,723**	-0,257	0,635**	0,295	0,650**
Significância		0,000	0,674	0,000	0,226	0,001	0,162	0,001
N	24	24	24	24	24	24	24	24
MST corr.Pearson	0,977**	1,000	0,184	0,751**	-0,267	0,636**	0,308	0,652**
Significância			0,389	0,000	0,208	0,001	0,143	0,001
N	24	24	24	24	24	24	24	24
NF corr.Pearson	0,90	0,184	1,000	0,563**	-0,236	0,051	0,288	0,124
Significância		0,389		0,004	0,267	0,813	0,172	0,564
N	24	24	24	24	24	24	24	24
AF corr.Pearson	0,723**	0,751**	0,563**	1,000	-0,218	0,377	0,445*	0,535**
Significância		0,000	0,004		0,306	0,069	0,029	0,007
N	24	24	24	24	24	24	24	24
NE corr.Pearson	-0,257	-0,267	-0,236	-0,218	1,000	-0,188	0,222	-0,122
Significância		0,208	0,267	0,306		0,379	0,298	0,569
N	24	24	24	24	24	24	24	24
NT corr.Pearson	0,635**	0,636**	0,051	0,377	-0,188	1,000	0,022	0,651**
Significância		0,001	0,813	0,069	0,379		0,920	0,001
N	24	24	24	24	24	24	24	24
MSPA								
corr.Pearson	0,295	0,308	0,288	0,445*	0,222	0,022	1,000	0,266
Significância		0,143	0,172	0,029	0,298	0,920		0,210
N	24	24	24	24	24	24	24	24
MSR corr.Pearson	0,650**	0,652**	0,124	0,535**	-0,122	0,651**	0,266	1,000
Significância		0,001	0,564	0,007	0,569	0,001	0,210	
N	24	24	24	24	24	24	24	24

Anexo B. Análise de resíduos de massa fresca de tubérculos (MFT), massa seca de tubérculos (MST), número de folhas (NF), número de tubérculos (NT), massa seca da parte aérea (MSPA), e massa seca das raízes (MSR) do cv. Atlantic no experimento II

Anexo C. Correlação entre massa fresca de tubérculos (MFT), massa seca de tubérculos (MST), número de folhas (NF), número de tubérculos (NT), massa seca da parte aérea (MSPA), e massa seca das raízes (MSR) do cv. Jatte-Bintje no experimento II

	MFT	MST	NF	AF	NE	NT	MSPA	MSR
MFT corr.Pearson	1,000	0,931**	-0,257	0,522**	0,121	0,460*	0,620**	0,457*
Significância		0,000	0,225	0,009	0,574	0,024	0,001	0,025
N	24	24	24	24	24	24	24	24
MST corr.Pearson	0,931**	1,000	-0,046	0,650**	0,179	0,457*	0,713**	0,577**
Significância	0,000		0,830	0,001	0,402	0,025	0,000	0,003
N	24	24	24	24	24	24	24	24
NF corr.Pearson	-0,257	-0,046	1,000	0,420*	0,243	-0,048	0,441*	0,122
Significância	0,225	0,830		0,041	0,252	0,825	0,031	0,571
N	24	24	24	24	24	24	24	24
AF corr.Pearson	0,522**	0,650**	0,420*	1,000	0,475*	0,009	0,869**	0,453*
Significância	0,009	0,001	0,041		0,019	0,965	0,000	0,026
N	24	24	24	24	24	24	24	24
NE corr.Pearson	0,121	0,179	0,243	0,475*	1,000	-0,156	0,374	0,546**
Significância	0,574	0,402	0,252	0,019		0,466	0,072	0,006
N	24	24	24	24	24	24	24	24
NT corr.Pearson	0,460*	0,457*	-0,048	0,009	-0,156	1,000	0,140	0,419*
Significância	0,024	0,025	0,825	0,965	0,466		0,513	0,042
N	24	24	24	24	24	24	24	24
MSPA corr.Pearson	0,620**	0,713**	0,441*	0,869**	0,374	0,140	1,000	0,297
Significância	0,001	0,000	0,031	0,000	0,072	0,513		0,158
N	24	24	24	24	24	24	24	24
MSR corr.Pearson	0,457*	0,577**	0,122	0,453*	0,546**	0,419*	0,297	1,000
Significância	0,025	0,003	0,571	0,026	0,006	0,042	0,158	
N	24	24	24	24	24	24	24	24

Anexo D. Análise de resíduos de massa fresca de tubérculos (MFT), massa seca de tubérculos (MST), número de folhas (NF), número de tubérculos (NT), massa seca da parte aérea (MSPA), e massa seca das raízes (MSR) do cv. Jatte-Bintje no experimento II

Anexo E. Correlação entre massa fresca de tubérculos (MFT), massa seca de tubérculos (MST), número de folhas (NF), número de tubérculos (NT), massa seca da parte aérea (MSPA), e massa seca das raízes (MSR) do cv. Monalisa no experimento II

	MFT	MST	NF	AF	NE	NT	MSPA	MSR
MFT corr.Pearson	1,000	0,977**	0,090	0,723**	-0,257	0,635**	0,295	0,650**
Significância		0,000	0,674	0,000	0,226	0,001	0,162	0,001
N	24	24	24	24	24	24	24	24
MST corr.Pearson	0,977**	1,000	0,184	0,751**	-0,267	0,636**	0,308	0,652**
Significância			0,389	0,000	0,208	0,001	0,143	0,001
N	24	24	24	24	24	24	24	24
NF corr.Pearson	0,090	0,184	1,000	0,563**	-0,236	0,051	0,288	0,124
Significância				0,004	0,267	0,813	0,172	0,564
N	24	24	24	24	24	24	24	24
AF corr.Pearson	0,723**	0,751**	0,563**	1,000	-0,218	0,377	0,445*	0,535**
Significância					0,306	0,069	0,029	0,007
N	24	24	24	24	24	24	24	24
NE corr.Pearson	-0,257	-0,267	-0,236	-0,218	1,000	-0,188	0,222	-0,122
Significância						0,379	0,298	0,569
N	24	24	24	24	24	24	24	24
NT corr.Pearson	0,635**	0,636**	0,051	0,377	-0,188	1,000	0,222	0,651**
Significância					0,379		0,298	0,001
N	24	24	24	24	24	24	24	24
MSPA								
corr.Pearson	0,295	0,308	0,288	0,445*	0,222	0,022	1,000	0,266
Significância					0,298	0,920		0,210
N	24	24	24	24	24	24	24	24
MSR corr.Pearson	0,650**	0,652**	0,124	0,535**	-0,122	0,651**	0,266	1,000
Significância					0,569	0,001	0,210	
N	24	24	24	24	24	24	24	24

Anexo F. Análise de resíduos de massa fresca de tubérculos (MFT), massa seca de tubérculos (MST), número de folhas (NF), número de tubérculos (NT), massa seca da parte aérea (MSPA), e massa seca das raízes (MSR) do cv. Monalisa no experimento II

Anexo G. Teste de homogeneidade no cultivar Atlantic

Estatística de Levene	Grau de liberdade 1	Grau de liberdade 2	α
0,109	2	9	0,898

Anexo H. Análises de resíduos padronizados da produtividade em função às doses de CO₂ no cultivar Atlantic

Anexo I Teste de homogeneidade no cultivar Jatte-Bintje

Estatística de Levene	Grau de liberdade 1	Grau de liberdade 2	α
4,182	2	9	0,052

Anexo J. Análises de resíduos padronizados da produtividade em função às doses de CO₂ no cultivar Jatte-Bintje

Anexo K. Teste de homogeneidade no cultivar Monalisa

Estatística de Levene	Grau de liberdade 1	Grau de liberdade 2	α
0,178	2	9	0,840

Gráfico de probabilidade normal dos resíduos

Resíduos versus ordem dos dados

Anexo L. Análises de resíduos padronizados da produtividade em função às doses de CO₂ no cultivar Monalisa