



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

TITÂNIO VIA FOLIAR NO METABOLISMO, ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E
PRODUTIVIDADE DE BATATA

FERNANDO SIMONI BACILIERI

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

FERNANDO SIMONI BACILIERI

TITÂNIO VIA FOLIAR NO METABOLISMO, ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E
PRODUTIVIDADE DE BATATA.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia – Mestrado, área de
concentração em solos, para obtenção do título de
“Mestre”.

Orientadora

Prof^a. Dr^a. Regina Maria Quintão Lana

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

B125t Bacilieri, Fernando Simoni, 1977
2015 Titânio via foliar no metabolismo, absorção de nutrientes e
produtividade de batata / Fernando Simoni Bacilieri. - 2015.
76 f. : il.

Orientadora: Regina Maria Quintão Lana.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Batata - Cultivo - Teses. 3. Absorção -
Titânio - Teses. 4. Fisiologia Vegetal - Teses. I. Lana, Regina Maria
Quintão. II. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

FERNANDO SIMONI BACILIERI

TITÂNIO VIA FOLIAR NO METABOLISMO, ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E
PRODUTIVIDADE DE BATATA.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Agronomia – Mestrado, área
de concentração em solos, para obtenção do título de
“Mestre”.

APROVADA em 03 de março de 2015.

Prof^a. Dr^a. Regina Maria Quintão Lana

UFU

Prof. Dr. José Geraldo Mageste

UFU

Prof. Dr. José Magno Queiroz Luz

UFU

Prof. Dr. Evandro Binotto Fagan

UNIPAM

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

Aos estudantes de agronomia, aos agricultores e aos
profissionais do campo.

OFEREÇO

À minha mãe Ivone e meu pai Luiz como forma de gratidão.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois tudo que Ele faz é bom;

A minha esposa Ketlin e ao meu filho Miguel;

Aos meus irmãos Fábio e Flávio pela convivência, companheirismo e amor incondicional;

Ao meu querido sobrinho Gabriel pelo carinho;

A orientadora Regina Maria Quintão Lana pela atenção, paciência e por acreditar em mim;

A professora Dra. Adriane de Andrade Silva que sempre esteve disposta a me ajudar;

A Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade de desenvolvimento pessoal, profissional e acadêmico;

Aos funcionários da secretária da pós graduação Eduardo e Cida que sempre me atenderam prontamente;

Aos professores do programa de pós graduação por todo conhecimento dividido especialmente aos professores Gaspar e professora Denise;

Aos colegas do programa de pós graduação da Universidade Federal de Uberlândia, especialmente a Roberta pela ajuda na estatística e paciência nos momentos de dúvidas;

Ao professor Evandro Fagan pelas valiosas contribuições e referência na atividade acadêmica;

Aos amigos da Udi Pesquisa de Desenvolvimento (Fernando Cantão, Gustavo, Viviane e Paulo Victor) pelo auxílio na condução do experimento;

Aos técnicos do Laboratório de Fisiologia de Estresse de Plantas da UNIPAM (Walquíria e Marina) pela ajuda com todas as análises bioquímicas;

Aos membros da banca por deixarem de lado suas atribuições pessoais e me fornecerem suas experiências, contribuindo para a conclusão deste trabalho;

Agradeço, enfim, a todos que de uma forma ou de outra não atrapalharam para realização desta obra!

A todos vocês, meu muito obrigado!!!

"O fruto de um trabalho de amor atinge sua plenitude NA colheita e esta chega sempre no seu tempo certo..."

Autor Desconhecido

SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Desenvolvimento e aspectos da batata	3
2.2 Elemento Titânio	4
2.3 Estresse de plantas e enzimas antioxidantes.....	6
2.4 Metabolismo de nitrogênio.....	8
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1 Caracterização da área experimental	10
3.2. Cultivar utilizada	11
3.3 Delineamento experimental e características das parcelas	11
3.4 Instalação e condução do experimento	12
3.5 Determinações realizadas	13
3.5.1 Teor de clorofila na folha (SPAD)	13
3.6 Procedimento de coleta do material vegetal	13
3.7 Determinações bioquímicas.....	14
3.7.1 Enzima nitrato redutase	14
3.7.2 Enzima Urease	14
3.7.3 Concentração de prolina (P, μmol de prolinag MF^{-1}).....	15
3.7.4 Atividade da enzima superóxido dismutase	15
3.7.5 Atividade da enzima catalase	15
3.7.6 Determinação da atividade das peroxidases (POD)	16
3.7.7 Peroxidação lipídica	16
3.8 Teores de nitrogênio (N), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) nas folhas e tubérculos.....	16
3.9 Produtividade e classificação de tubérculos	16
3.10 Análise estatística	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1 Avaliações da fase I – Crescimento.....	18
4.1.1 Índice SPAD.....	18
4.1.2 Absorção de nutrientes	18
4.1.3 Análises bioquímicas.....	21

4.2 Avaliações da fase II - Tuberização	26
4.2.1 Índice SPAD	26
4.2.2 Absorção de nutrientes	27
4.2.3 Análises bioquímicas	30
4.3 Avaliações da fase III - Enchimento de tubérculos.....	35
4.3.1 Valor SPAD	35
4.3.2 Absorção de nutrientes	36
4.3.3 Análises bioquímicas	39
4.4 Avaliações ao final do ciclo.....	44
4.4.1 Teor de nutrientes nos tubérculos	44
4.4.2 Características produtivas	45
5 CONCLUSÕES.....	49
6 REFERÊNCIAS.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Atributos químicos da amostra de solo (0,0 - 0,2 m de profundidade), da área experimental. Uberlândia, MG, 2014.	11
2	Teores de micronutrientes e enxofre no solo da área experimental (0,0 - 0,2 m de profundidade) da área experimental. Uberlândia, MG, 2014.	11
3	Descrição dos tratamentos utilizados no experimento. Uberlândia, MG, 2014.	12
4	Tratamento fitossanitário utilizado na condução do experimento, Uberlândia, MG, 2014.	13
5	Valor SPAD de plantas de batata na fase de crescimento em função de doses de titânio. Uberlândia-MG, 2014.	18
6	Teores médios de nitrogênio (g kg^{-1}), cobre, ferro, manganês e zinco (mg kg^{-1}) na folha da batata na fase de crescimento, em função de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.	19
7	Equações de regressão e os coeficientes de determinação (R^2), teor de nutrientes ferro, manganês e zinco (mg kg^{-1}) na fase de crescimento em função de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.	21
8	Teores médios de Prolina, Peroxidação lipídica e atividade das enzimas ANR, Urease, SOD, POD e CAT em função de doses de titânio. Uberlândia-MG. 2014.	24
9	Equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2), de análises bioquímicas ANR, Urease, Prolina, SOD, POD, CAT e PL em função de aplicação de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.	25
10	Valor SPAD de plantas de batata na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia-MG, 2014	26
11	Teores médios de nitrogênio (g kg^{-1}), cobre, ferro, manganês e zinco (mg kg^{-1}) na folha da batata na fase de tuberização em função de doses de titânio. Uberlândia-MG, 2014.	27
12	Equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2) de teor de nutrientes ferro, manganês e zinco (g kg^{-1}) na fase de tuberização em função de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.	30
13	Teores de Prolina, Peroxidação lipídica e atividade das enzimas ANR, Urease, SOD, POD e CAT na fase de tuberização em função de doses de titânio. Uberlândia-MG, 2014	30

14	Equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2), de análises bioquímicas ANR, Urease, Prolina, SOD, POD, CAT e PL na fase de tuberização em função de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.	35
15	Valor SPAD de plantas de batata na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de titânio. Uberlândia-MG, 2014.	36
16	Teores médios de nitrogênio (g kg^{-1}), cobre, ferro, manganês e zinco (mg kg^{-1}) nas folhas da batata na fase enchimento de tubérculos em função de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.	36
17	Equações de regressão e os coeficientes de determinação (R^2) dos teores de nutrientes nitrogênio (g kg^{-1}), ferro, manganês e zinco (mg kg^{-1}) na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	39
18	Teores médios de Prolina, Peroxidação lipídica e da atividade de enzimas ANR, Urease, SOD, POD e CAT na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.	40
19	Equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2), de análises bioquímicas ANR, urease, prolina, SOD, POD, CAT e PL em função de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.	43
20	Teores médios de nitrogênio (g kg^{-1}), cobre, ferro, manganês e zinco (mg kg^{-1}) nos tubérculos em função de doses de titânio. Uberlândia-MG, 2014.	44
21	Equação de regressão e coeficiente de determinação (R^2) de Zn nos tubérculos (mg kg^{-1}). Uberlândia, MG, 2014.	45
22	Frequência de classificação comercial dos tubérculos (%) de batata em função de diferentes doses de titânio foliar. Uberlândia, MG, 2014.	45
23	Massa média de tubérculos (g), diâmetro médio de tubérculos (cm) e produtividade total de tubérculos (t ha^{-1}), por classificação quanto ao diâmetro, em função de tratamentos com titânio foliar. Uberlândia, MG, 2014.	46
24	Equações de regressão e coeficiente de determinação (R^2), para peso medio de tubérculos (g), diâmetro medio de tubérculos (cm) e produtividade total de tubérculos de batata (t ha^{-1}). Uberlândia, MG, 2014.	48

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Dados meteorológicos registrados no período de 13 de agosto de 2014 a 19 de novembro de 2014. Uberlândia, MG, 2014.	10
2	Teor de Mn na folha em função de aplicação de doses de Ti Uberlândia, MG, 2014.	20
3	Teor de Zn na folha em função de aplicação de doses de Ti Uberlândia, MG, 2014.	20
4	Teor de Fe na folha em função de aplicação de doses de Ti Uberlândia, MG, 2014.	21
5	Atividade da enzima nitrato redutase na fase de crescimento em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	22
6	Atividade a enzima uréase na fase de crescimento em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	23
7	Teor de prolina na fase de crescimento em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	23
8	Peroxidação lipídica em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	25
9	Teor de Fe nas folhas na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	28
10	Teor de Mn nas folhas na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	29
11	Teor de Zn nas folhas na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	29
12	Atividade da enzima nitrato redutase na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	31
13	Atividade da enzima urease na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	31
14	Teor de prolina na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	32
15	Atividade da enzima POD na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	33

16	Atividade da enzima SOD na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	33
17	Atividade da enzima catalase na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	34
18	Peroxidação lipídica na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	35
19	Teor de N nas folhas na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	37
20	Teor de Fe nas folhas na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	37
21	Teor de Mn nas folhas na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	38
22	Teor de Zn nas folhas na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	39
23	Atividade da enzima nitrato redutase na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	40
24	Atividade da enzima urease na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	41
25	Teor de prolina na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	42
26	Atividade da enzima SOD na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	42
27	Atividade da enzima CAT em função de doses de Ti na fase de enchimento de tubérculos. Uberlândia, MG, 2014.	43
28	Teor de Zn nos tubérculos de batata em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	44
29	Massa média de tubérculos de batata em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	46
30	Diâmetro médio de tubérculos de batata em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.	47
31	Produtividade total de tubérculos de batata em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014	47

LISTA DE ABREVIATURAS

Associação Brasileira da Batata	ABBA
Água	H ₂ O
Atividade da enzima nitrato redutase	ANR
Catalase	CAT
Centímetros	cm
Cobre	Cu
Coefficiente de variação	CV
Diâmetro médio de tubérculos	DMT
Dias após a emergência	DAE
Espécie reativa de oxigênio	ERO
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	EMBRAPA
Ferro	Fe
Gramas	g
Hectare	ha
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	IBGE
Litro	L
Manganês	Mn
Massa média de tubérculos	MMT
Metro	m
Metros quadrado	m ²
Miligramas	Mg
Milímetros	mm
Mililitros	ml
Minas Gerais	MG
Nitrogênio	N
Organização das Nações Unidas para alimentação e agricultura	FAO
Probabilidade	P
Produtividade total de tubérculos	PTT
Porcentagem	%
Peroxidação lipídica	PL
Peroxidase	POD
Peróxido de hidrogênio	H ₂ O ₂
Quilogramas	kg
Sacas	Sc
Superóxido dismutase	SOD
Titânio	Ti
Tonelada	t
Universidade Federal de Uberlândia	UFU
Zinco	Zn

RESUMO

BACILIERI, F.S. TITÂNIO VIA FOLIAR NO METABOLISMO, ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE BATATA. 2015. 76f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

A batata (*Solanum tuberosum* L.) tem grande importância na alimentação humana onde ocupa o quarto lugar entre os alimentos mais consumido no mundo. É uma cultura altamente exigente em tecnologias especialmente sob o ponto de vista nutricional. Apesar do titânio (Ti) não ser considerado um nutriente, trabalhos demonstram efeitos benéficos deste elemento quando aplicado às plantas. A aplicação de Ti foliar pode ser uma alternativa pois este elemento é pouco móvel no solo e geralmente está presente em formas insolúveis. Desta forma, objetivou-se avaliar a influência da aplicação de doses de Ti via foliar na cultura da batata. Realizou-se um experimento no período de agosto a novembro de 2014, instalado na estação experimental Udi Pesquisa e Desenvolvimento em Uberlândia-MG, com utilização da cultivar Ágata. As variáveis relacionadas ao metabolismo avaliadas foram: teor clorofila SPAD, atividade da nitrato redutase (ANR), peroxidação lipídica (PL), urease, prolina, catalase (CAT), superóxido desmutase (SOD) e peroxidase (POD). Aspectos nutricionais como os teores dos nutrientes nitrogênio (N), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) presentes em folhas e tubérculos foram mensurados fases de crescimento, tuberização e enchimento de tubérculos. Ao final do ciclo da cultura foi quantificada a massa média, diâmetro médio, classificação comercial e a produtividade dos tubérculos. O delineamento foi o de blocos casualizados, com quatro repetições e seis tratamentos. O fornecimento do Ti foi através de fertilizante composto por 5% de óxido de magnésio, 10% de trióxido enxofre e 0,85% de complexo de titânio com os seguintes tratamentos: T₁ – sem aplicação de Ti, T₂ -10,2; T₃ -15,3; T₄ - 20,4; T₅ - 22,9 e T₆ - 25,5 g de Ti ha⁻¹ divididos em três aplicações iguais durante a fase de crescimento, tuberização e enchimento de tubérculos. Concluiu-se que os teores de Cu não são influenciados pelas doses de Ti nas fases avaliadas. Na fase de crescimento a aplicação foliar de Ti reduz o teor de Mn nas folhas e há aumento da atividade da POD e ANR e redução da atividade da urease. Na fase de tuberização a absorção de Fe e atividade de enzimas SOD e POD tem resposta ao aumento da dose de Ti. Na fase de enchimento de tubérculos a aplicação foliar de Ti incrementa os teores de clorofila (valor Spad). A aplicação de Ti foliar nas fases de crescimento, tuberização e enchimento de tubérculos resulta em menor teor de Zn nos tubérculos. A massa média de tubérculos, o diâmetro médio de tubérculos e a produtividade total de tubérculos são influenciados pela aplicação foliar de Ti. A dose de Ti aplicada via foliar para maior produtividade de tubérculos é de 5,74 g de Ti ha⁻¹.

Palavras-chaves: atividade enzimática, *Solanum tuberosum* L., nutrição foliar, elemento benéfico, absorção de nutrientes.

¹ Professora Orientadora: Regina Maria Quintão Lana - UFU

ABSTRACT

BACILIERI, F. S. **TITANIUM FOLIAR SPRAY IN METABOLISM, NUTRIENT UPTAKE AND POTATO PRODUCTIVITY.** 2015. 76 f. Dissertation (Master's degree in Agronomy/Soil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.²

The potato (*Solanum tuberosum* L.) has great importance in human nutrition where it occupies the fourth place among the most consumed foods in the world. It is a highly demanding culture technology especially in the nutritional point of view. Despite the titanium (Ti) is not considered a nutrient, studies have shown beneficial effects of this element when applied to plants. The application of Ti leaf can be an alternative for this element is slightly movable in the soil and is generally present in insoluble forms. Thus, the objective was to evaluate the influence of application rates of Ti foliar in the potato crop. We conducted an experiment in the period from August to November 2014, installed at the experimental station Udi Pesquisa e Development in Uberlândia-MG, with kind Ágata. Variables related to metabolism were evaluated: SPAD chlorophyll content, nitrate reductase activity (NRA), lipid peroxidation (LP), urease, proline, catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD). Nutritional factors such as levels of nutrients nitrogen (N), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn) and zinc (Zn) present in leaves and tubers were measured stages of growth, tuber and tuber filling. At the end of the crop cycle was quantified the average mass, diameter, commercial classification and productivity of tubers. The design was a randomized block design with four replications and six treatments. The supply of the Ti compound fertilizer was through for 5% of magnesium oxide, 10% sulfur trioxide and 0,85% titanium complex and the treatments was: T₁ - without the application of Ti, T₂ - 10.2; T₃ - 15.3; T₄ - 20.4; T₅ - 22.9 and T₆ - 25.5 g Ti ha⁻¹ divided into three equal applications during the growth phase, tuber and tuber filling. It was concluded that in the growth phase the foliar application of Ti reduces the Mn content in the leaves and there is increased activity of POD and ANR and reduced urease activity. In the tuberization phase the Fe absorption, SOD activity and POD response to increasing Ti dose. In tubers filling stage foliar application of Ti increases chlorophyll levels (Spad value). The application of Ti in the leaf growth stages, tuber and tuber filler results in a lower Zn content in the tubers. The average tuber weight, the average diameter of tubers and the total productivity of tubers are affected by foliar application of Ti. The dose Ti foliar applied for further tuber yield is 5.74 g Ti ha⁻¹.

Keywords: enzymatic activity, *Solanum tuberosum* L., foliar nutrition, beneficial element, nutrient uptake.

² Supervisor: Regina Maria Quintão Lana - UFU

1 INTRODUÇÃO

Segundo a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), (2011) a população mundial no ano de 2050 atingirá nove bilhões de habitantes. Garantir alimento para essa população crescente exigirá a adoção de práticas que aumentem a qualidade e os rendimentos dos cultivos agrícolas e que além de economicamente viáveis, devem ser de fácil acesso aos agricultores. Tais práticas se aplicam a cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.), que é a base da alimentação de muitos povos no mundo (FILGUEIRA, 2008). No Brasil, ela é a olerícola de maior importância econômica e a mais cultivada, com uma área aproximada de 126,8 mil hectares segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013).

Entre os fatores que aumentam a produção de tubérculos, destacam-se o uso de cultivares mais produtivas, maior eficiência na utilização de nutrientes (fertilizantes de liberação gradual, fertilizantes organominerais, bioestimulantes, substâncias húmicas, condicionadores de solo, fertilização biológica) controle mais eficaz de plantas daninhas, pragas e doenças (com o uso de diferentes princípios ativos e controle biológico), além da adoção de outras técnicas de manejo a campo.

A nutrição mineral é um dos recursos que mais contribuem para a obtenção de elevada produtividade com boa qualidade de tubérculos. Para o Ti (titânio), que ainda não é considerado um nutriente para a produção de vegetais, a adubação foliar pode ser uma prática vantajosa, pois o fornecimento deste elemento aplicado via solo não é eficiente uma vez que no solo ele apresenta baixa mobilidade e pode ter sua absorção pelas raízes limitada. As principais fontes de Ti no solo são os minerais rútilo (TiO_2) e ilmenita (FeTiO_3), que na faixa ótima de pH para a maioria das culturas entre 4,0 e 8,0 são insolúveis, portanto indisponível e também sem possíveis efeitos tóxicos para as plantas (DUMON & ERNST, 1988).

Por outro lado, os estudos de nutrição de plantas mostram que existem nutrientes que são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas e existem elementos que apesar de não nutrientes, são benéficos e podem favorecer eventos fenológicos tais como germinação, enraizamento, crescimento vegetativo, estolinização, tuberização, crescimento de tubérculos e maturação. Estes elementos também podem promover resistência a estresse biótico ou abiótico e podem aumentar a absorção de macro e micronutrientes, tornando as plantas mais eficientes e produtivas. Atualmente,

esta é a expectativa para o Ti, como citado por Carvajal & Alcaraz (1998) e Pais et al (1977).

No entanto, faltam informações sobre os efeitos do fornecimento de Ti, seja via solo ou foliar, especialmente em olerícolas como a batata nas condições edafoclimáticas do cerrado.

Estudos sobre a possível eficiência do fornecimento de Ti para a cultura da batata, bem como o entendimento de sua influência no metabolismo através da atividade de enzimas ou da absorção de alguns nutrientes já considerados essenciais são de suma importância para otimizar os recursos utilizados para produção, reduzir os custos e promover aumento de produtividade.

Assim, o presente estudo objetivou avaliar os efeitos de doses de titânio parceladas nas fases de crescimento, tuberização e enchimento de tubérculos sob o teor de nitrogênio e micronutrientes metálicos contidos nas folhas e nos tubérculos, no teor de clorofila SPAD, no teor de prolina, na peroxidação lipídica, na atividade de enzimas, na diferenciação de classes, na massa, no diâmetro e na produtividade de tubérculos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Desenvolvimento e aspectos da batata

A batata é uma planta nativa da América do Sul, foi introduzida na Europa no final do século XVI, disseminada rapidamente para outros países. Cultivada atualmente em mais de 125 países, tem importância como base na alimentação de vários povos. (BEUKEMA; ZAAG, 1990). Destaca-se pela alta capacidade produtiva por área (até 100 t ha⁻¹) em um curto período de tempo, com ciclo que varia entre 90 e 110 dias dependendo das condições ambientais, da nutrição e dos tratos culturais (PEREIRA; DANIELS, 2003).

O desenvolvimento da batateira é dividido em cinco estádios fenológicos. A primeira fase (I) inicia-se com o plantio da batata semente que fornece energia à nova planta e vai até a emergência; a fase (II) refere-se ao crescimento vegetativo com desenvolvimento de folhas e hastes; a fase (III) abrange o crescimento de estolões até o de início da tuberização; a fase (IV) é representada pelo acúmulo de reservas e enchimento dos tubérculos e a última fase (V) caracteriza-se pela planta atingir o máximo teor de matéria seca e compreende o período de maturação ou senescência da planta (FILGUEIRA, 2008).

As hastes, estolões e tubérculos são três formas de caule e desempenham funções distintas. As hastes representam o caule aéreo, são estruturas de transporte de água, nutrientes e fotoassimilados. Os estolões crescem no interior do solo, se desenvolvem horizontalmente possuem função reprodutiva com capacidade para originar na extremidade destes, primórdios radiculares e outra planta ou tubérculos. Os tubérculos são órgãos de reserva, permitem sobrevivência, são uma forma de propagação vegetativa e o objetivo principal dos cultivos (FORTES; PEREIRA, 2003; FILGUEIRA, 2008).

O processo de brotação da batata é desencadeado, entre outros fatores, pelo balanço interno favorável de hormônios vegetais promotores do crescimento, como as auxinas, as citocininas e as giberelinas (LECLERC et al., 1995; SUTTLE, 2004), coincidindo com o aumento das giberelinas endógenas (ITTERSUM & SCHOLTE, 1993). A tuberização também é dependente de um balanço hormonal favorável, entretanto, com o maior acúmulo de citocininas nos estolões (FONTES & FINGER, 2005). Na maturação e/ou senescência aumentam os níveis dos hormônios etileno, responsável pela maturação e ácido abscísico que causa dormência das gemas.

A colheita deve ser realizada após o firmamento da película externa, o que ocorre aproximadamente 14 dias após a morte da parte aérea para evitar danos mecânicos e perda da qualidade dos tubérculos colhidos.

Após a colheita, os tubérculos que serão utilizados como sementes, são acondicionados em câmaras frias passam por um período de dormência até o início de brotação.

2.2 Elemento Titânio

O titânio (Ti), pertence ao grupo de metais de transição da tabela periódica de elementos químicos. Ele tem possibilidade de troca de valência e de transferência de elétrons e é o nono elemento mais abundante na crosta terrestre, pode ser encontrado em quase todos os tipos de rochas, solos e corpos de água e representa de 0,1 % a 0,7 % da composição dos solos (MCCLENDON, 1976). Está presente na composição dos minerais anatase (TiO_2), brookita (TiO_2), ilmenita (FeTiO_3), perovskita (CaTiO_3), rutilo (TiO_2) e titanita (CaTiSiO_5); também como titanato em minas de ferro. Destes minerais, somente a ilmenita e o rutilo apresentam importância econômica, justificado pela concentração de titânio e a facilidade de extração.

Apesar da sua abundância no ambiente, Ti é difícil de ser extraído do solo pelas plantas porque este elemento não é solúvel na faixa de pH de 4,0 a 8,0 onde a maior parte de plantas de interesse agrônômico cresce bem sem excessos ou falta de nutrientes.

Ti é encontrado na composição mineral de todos os grupos de plantas (ELGHONEMY et al., 1977; GUHA e MITCHELL, 1965), fungos (SILVERMAN e MUÑOZ, 1971) e líquenes (TAKALA e OLKKONEN, 1985) sendo a maior concentração nos organismos aquáticos (DUMONT e ERNST, 1988).

Os efeitos do Ti sobre as plantas e bactérias mostram dependência da concentração. Kabatia e Pendias (1984) consideram que o limite de concentração no solo a partir do qual o Ti pode ocasionar fitotoxidez às plantas é 1 mg kg^{-1} . Já foi observado que para as bactérias possui ação de antibiótica (YAGHOUBI et al., 2000).

O Ti não é considerado um nutriente fundamental ao crescimento e desenvolvimento das plantas, pois não atende às características descritas nas definições de essencialidade dos nutrientes, em que um elemento só é considerado essencial se sua deficiência torne impossível para a planta completar o seu ciclo de vida; a deficiência deve ser específica do nutriente em questão e não pode ser prevenida, suprida ou

corrigida com o fornecimento de outro elemento; e o elemento é diretamente envolvido em algum processo no metabolismo da planta (ARNON e STOUT, 1939; EPSTEIN e BLOOM, 2005; EPSTEIN, 1999). Alguns elementos podem afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas, embora não se tenha determinado condições para caracterizá-los como nutrientes. MARSCHNER (1991) inclui nesta categoria juntamente com o Ti, sódio, silício, cobalto, selênio e alumínio.

O Ti pode ser considerado um elemento benéfico (CARVAJAL e ALCARAZ, 1998; PAIS et al., 1977). Os benefícios na germinação, rendimento da produção de biomassa, síntese de proteínas, absorção de nutrientes, atividade de enzimas antioxidantes, fotossíntese qualidade de frutos em uma grande variedade de espécies vegetais são relatados em diversos trabalhos (CARVAJAL et. al, 1998).

Kołaczynska-Janicka (2004) consideram produtos compostos por elementos benéficos, hormônios vegetais, aminoácidos, proteínas, enzimas e outros elementos biologicamente ativos como bioestimulantes.

Kuzel (2003) considerou como um dos efeitos benéficos da aplicação de Ti o efeito chamado "hormesis". Esta teoria baseia-se no fato de uma substância potencialmente nociva, quando aplicada em doses baixas, ter capacidade de causar estímulos fisiológicos na planta, como exemplo, aumentar a atividade enzimática ou facilitar a absorção de um nutriente. Neste caso, a aplicação deste elemento induz as plantas a responderem com efeitos contrários à influência negativa que estão sofrendo.

A distribuição de Ti foi estudada em plântulas de trigo (*Triticum* spp) e foi observado que tanto através da aplicação nas folhas quanto nas raízes houve uma translocação de Ti praticamente unidirecional e um acúmulo preferencial na fração nuclear da célula (KELEMEN et al., 1993). No entanto, em *Capsicum annuum*, foi observada uma baixa mobilidade deste elemento, que pareceu ser concentrada no órgão onde foi aplicado (MARTINEZ-SANCHEZ et al., 1990). Em aveia (*Avena sativa*), a absorção de Ti através de uma solução de nutritiva, foi mais eficaz que a aplicação sobre as folhas, beneficiando parâmetros fisiológicos de plantas, como a maior produção de biomassa, teor de clorofila, e crescimento (KUZEL et al., 2003).

Trabalhos demonstram efeitos positivos da aplicação de Ti sob a absorção de elementos essenciais, embora Bedrosian e Hanna (1966) tenham relatado deficiências de ferro (Fe) e manganês (Mn) em *Pieris japonica* devido a um aumento da absorção de Ti. Já Gimenez et al(1990) trabalhando com pimenta (*Capsicum annuum*) mostrou que a concentração de alguns macros e micronutrientes foi favorecida quando as plantas

receberam aplicações foliares de Ti. Haghighi et al. (2012) demonstraram que 1 mg L⁻¹ de Ti em uma solução nutritiva pode compensar a absorção de nitrogênio, quando a dose de nitrogênio foi reduzida em 50%. Este procedimento não alterou a massa fresca e seca da parte aérea e raízes, tempo de floração, número de flores, teor de clorofila e capacidade fotossintética de plantas de tomate.

Beijo et al. (1985) e Daood et al. (1998) demonstraram que Ti pode ativar a fotossíntese, provavelmente através da alteração do estado redox de proteínas reguladoras específicas e provocar uma alteração na atividade da enzima frutose1,6-bisfosfatase (F1,6BP) que participa no ciclo de Calvin e é muito importante no metabolismo de carboidratos.

Aumento da atividade de enzimas como catalase, peroxidase e nitrato redutase foram observadas por Pais (1983) após a adição de Ti em trigo e milho (*Zea mays*) e em pimenta (CARVAJAL et al., 1994a). 'Lu et al. (2002) demonstraram que uma combinação de nano partículas de SiO₂ e TiO₂ aumentou atividade de enzimas e do sistema antioxidante em plantas de soja (*Glycine max*), promoveu a absorção e utilização de água e nutrientes, acelerou a germinação e o crescimento. Além disso, os efeitos positivos de TiO₂ melhoraram a resistência de plantas a estresse (NAVARRO et al., 2008).

2.3 Estresse de plantas e enzimas antioxidantes

Os modelos de percepção do estresse vêm sendo estabelecidos para vegetais superiores. Alterações na conformação da membrana celular provocadas por EROs (espécies reativas de oxigênio) causam mudanças em canais de transporte ativados por pressão, modificam a conformação ou a justaposição de proteínas sensoriais embebidas nas membranas celulares, e alteram a continuidade entre a parede celular e a membrana celular. Essas modificações ativam complexos enzimáticos, que iniciam uma cascata de eventos moleculares e que levam à indução da expressão de várias categorias de genes (HARE et al., 1964; SHINOZAKI e YAMAGUCHI-SHINOZAKI, 1996, 1997, 1999).

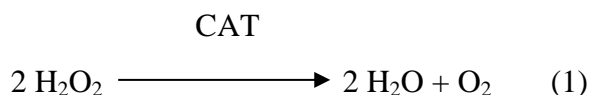
No processo de desintoxicação celular, a ação combinada dos sistemas enzimáticos e não enzimáticos é importante para evitar danos oxidativos celulares prejudiciais aos organismos vivos submetidos às variadas condições de estresse que podem resultar na oxidação dos pigmentos fotossintéticos, destruição dos lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (REDDY et al., 2004).

O sistema de defesa enzimático é formado por enzimas capazes de remover, neutralizar ou limpar as EROs do interior das células de organismos vivos. Enzimas antioxidantes, tais como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD) entram em atividade como mecanismo de defesa para proteção contra o estresse oxidativo (MITTLER, 2002). Os radicais superóxido (O_2^-) são eliminados pela SOD numa reação que produz peróxido de hidrogênio (H_2O_2). A POD também é capaz de gerar H_2O_2 a partir da enzima NADH. O H_2O_2 é consumido através da sua conversão em oxigênio e água pela CAT. O oxigênio singlete (O_2) e os íons hidroxilas (OH^-) são eliminados pela rota da glutathione. O dano causado tanto pelo oxigênio singlete quanto pelos íons hidroxilas é também reduzido pelos antioxidantes não enzimáticos, vitamina E e carotenoides (BRAY et al., 2000).

A POD são hemoproteínas de oxidoredutase, específicas para aceptor de hidrogênio (ALFENAS, 1998), e estão presentes em certas células animais, microrganismos e tecidos vegetais. Ocorrem em diversos componentes celulares como núcleo, mitocôndrias, ribossomos, paredes celulares e membranas celulares (FRY, 1976; HOAGLAND, 1990).

Apesar da função ainda não ser completamente elucidada, as PODs desempenham funções como a catálise da oxidação e biossíntese de lignina (GOLDBERG et al., 1985), oxidação de compostos fenólicos (FRIES, 1986) e inibição do crescimento através da oxidação do ácido indol-3-acético (HOAGLAND, 1990).

As CATs são enzimas de oxidoredutase, proteínas tetraédricas, constituídas de quatro grupos heme. Estão presentes em todas as células de plantas, animais e microrganismo aeróbicos. Podem ser encontradas no citoplasma, mitocôndrias, peroxissomos de folhas, glicossomos de tecidos (FRUGOLI *et al.*, 1996). São importantes catalisadores que atuam como reguladores dos níveis de H_2O_2 e sua atividade consiste na conversão de H_2O_2 em H_2O e O_2 de acordo com a reação na equação (1):



As CATs utilizam o H_2O_2 para oxidação de toxinas, incluindo compostos fenólicos, ácido fórmico, formaldeídos e álcoois (RICE-EVANS *et al.*, 1991), removem o H_2O_2 gerado nos peroxissomos foliares pela oxidação do glicolato na fotorrespiração

em plantas C₃, e atuam também nos glioxissomos e nas mitocôndrias, combatendo o H₂O₂ produzido na oxidação dos ácidos graxos e na cadeia transportadora de elétrons (FRUGOLI *et al.*, 1996; PIMENTEL, 1998).

Em plantas superiores, as CATs representam um papel importante no mecanismo de defesa antioxidante de tradução de sinais, que responde aos estresses ambientais (LÉON *et al.*, 1995)

As CATs parecem ser sensíveis a fotoinativação, especialmente em baixa temperatura, levando a uma severa inibição da fotossíntese. As reações de catalase tornam-se mais importantes quando a concentração de 2H₂O aumenta, pois em concentração normal de 2H₂O, este é reduzido pela glutatona e peroxidase (ELSTNER & OSSWALD, 1994).

A SOD é uma enzima de oxiredutase e pode ligar-se a um composto metálico, denominando-se metaloenzima, sendo encontrada em três diferentes formas de acordo com o componente metálico associado. Assim existem SODs contendo Cu e Zn (Cu/ZnSOD), manganês (Mn-SOD) e ferro (Fe-SOD) que podem estar presentes no cloroplasto e mitocôndrias das células vegetais.

As SOD's são consideradas importantes agentes antioxidantes porém em elevadas concentrações nas células animais e bacterianas, podem induzir disfunções e morte celular (BAKER & ORLANDI, 1995).

2.4 Metabolismo de nitrogênio

A atividade da redutase do nitrato (ARN) tem função importante no metabolismo do nitrogênio como responsável pela redução do nitrato. Atua no primeiro passo da redução do nitrogênio nítrico por plantas superiores. A redução de nitrato ocorre no citossol e envolve a ação da ARN, produzindo nitrito, o qual adentra aos plastídios nas raízes ou cloroplastos em folhas, sendo reduzido à amônia por ação da enzima nitrito redutase (NR), a qual é fixada via glutamato sintase / glutamina sintase (GS/GOGAT) nos aminoácidos, glutamina e glutamato que por sua vez servem de substrato para reações de transaminação, para a produção de aminoácidos necessários à síntese de proteínas (DONATO *et al.*, 2004)

A estimativa da atividade da enzima redutase de nitrato tem sido utilizada, com sucesso, como parâmetro indicativo da resposta fisiológica de plantas submetidas a condições adversas (DELÚ FILHO; OLIVEIRA; ALVES, 1997) trata-se de uma boa

estimativa do estado nutricional da planta quanto ao nitrogênio, mostrando boa correlação com o crescimento e produção (SRIVASTAVA, 1980).

A urease é uma enzima que catalisa a conversão de ureia à amônia, que é assimilada na via de síntese de glutamina. Apesar da ampla distribuição das ureases nas plantas, pouco se sabe sobre sua função nos vegetais. A principal função da urease, em plantas, parece estar relacionada à reciclagem de nitrogênio a partir de ureia gerada externa ou internamente (SIRKO e BRODZIK, 2000; FOLLMER, 2008).

A prolina é um aminoácido componente de proteínas e alguns autores sugerem outras funções para o acúmulo de prolina, como: estabilizador de estruturas subcelulares (SCHOBERT e TSCHESCHE, 1978); *scavenger* de radicais livres (SARADHI et al., 1995); depósito de energia (HARE E CRESS, 1997); componente da cascata de sinalização molecular do estresse (WERNER E FINKELSTEIN, 1995); e constituinte principal de proteínas da parede celular de plantas (NANJO et al., 1999). Enquanto vários trabalhos indicam uma alta correlação entre o acúmulo de prolina e o aumento da tolerância ao estresse abiótico, outros sugerem que o acúmulo é simplesmente um efeito do estresse (DELAUNEY e VERMA, 1993; MADAN et al. 1995). Mehta e Gaur (1999) que observaram um acréscimo na concentração de prolina, prevenindo assim a peroxidação lipídica induzida pela intoxicação por metal pesado.

A síntese demasiada de prolina pode ser prejudicial às plantas, pois esta consome entre 0,4 e 0,6% do N total das folhas (ERNEST; NELISSEN; BOOKUM, 2000) e dessa forma, a elevada síntese de prolina pode consumir parte do N que poderia ser utilizado para o crescimento, além da inibição do crescimento devido a toxidez desses aminoácidos quando presente em altas concentrações.

O entendimento da influência do Ti em diferentes fases da cultura da batata sob os mecanismos de resistência ao estresse, absorção de nutrientes essenciais e possíveis efeitos em qualidade e produtividade de tubérculos justificam a importância da realização deste trabalho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Estação Experimental UDI Pesquisa e Desenvolvimento, localizada no município de Uberlândia – MG, a 18°53' 59'' de latitude Sul e 48°09' 40' de longitude Oeste, a 900 metros de altitude, no período de 13 de agosto de 2014 a 19 de novembro de 2014.

O clima do local é do tipo Aw (tropical estacional de savana) na classificação de Köppen. A precipitação e temperatura média anual estão em torno de 1200 mm ano⁻¹ e 25°C, com as chuvas concentradas entre os meses de novembro e março. A umidade relativa do ar varia de 50-60% a 85-90% durante a estação das chuvas. Os dados de temperatura (°C), precipitação (mm) e umidade relativa (%) registrados durante a condução do trabalho encontram-se na Figura 1.

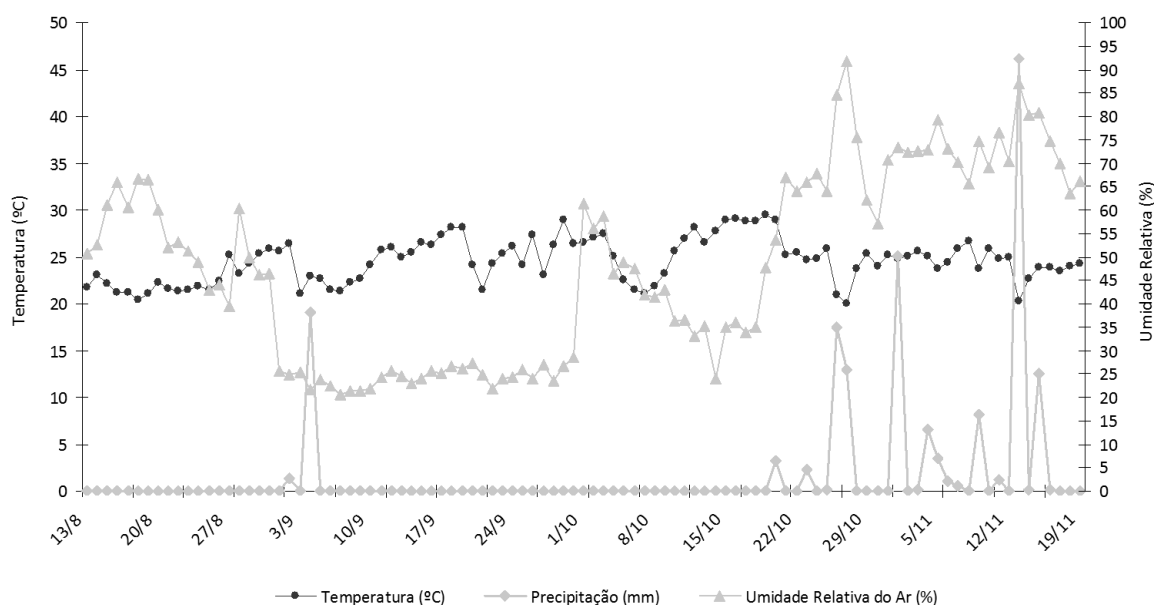


FIGURA 1: Dados meteorológicos registrados no período de 13 de agosto de 2014 a 19 de novembro de 2014. Uberlândia, MG, 2014.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho, de textura média. Os resultados das análises químicas da amostra de solo, retirada de 0 - 20 cm de profundidade estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

TABELA 1: Atributos químicos da amostra de solo (0 - 20 cm de profundidade), da área experimental. Uberlândia, MG, 2014.

pH H ₂ O	P	K	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	t	T	V	M.O
1:2,5	.....mg	dm ⁻³.....	.....	.....	.....	cmolc	dm ³.....	.....	.....	.....%	.....
5,5	24,4	200	0,1	2,1	0,5	3,8	3,11	2,17	6,91	45	4,2

P, K (HCl 0,05mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹); Al, Ca, Mg = (KCl mol L⁻¹); M.O. = (Walkley-Black), SB= soma de bases/t =CTC efetiva/ T=CTC a pH 7,0/ V= Saturação por bases. (EMBRAPA, 2009).

TABELA 2: Teores de micronutrientes e enxofre no solo da área experimental (0 - 20 cm de profundidade) da área experimental. Uberlândia, MG, 2014.

B	Cu	Fe	Mn	Zn	S-SO ₄ ⁻²
.....
0,07	3,4	11	6,6	0,5	34

B = [BaCl₂.2H₂O a 0,125% à quente]; Cu, Fe, Mn, Zn = [DTPA 0,005 mol L⁻¹+CaCl 0,01 mol L⁻¹+ TEA 0,1 mol L⁻¹ a pH 7,3]; S-SO₄⁻² = Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹. EMBRAPA (2009)

3.2. Cultivar utilizada

Foi utilizada a cultivar Ágata (Böhm52/72 x Sirco) que é originária da Holanda, considerada de maturação precoce a muito precoce. Produz grande número de estolões com os tubérculos de formato ovais e tamanho variado, casca amarela e predominantemente lisa, poupa de cor amarelo-claro; olhos superficiais. Seu genótipo confere resistência ao nematoide dourado, imunidade ao cancro, sendo pouco susceptível ao vírus Yn e susceptível à requeima das folhas. Tem potencial para altos rendimentos de tubérculos, porém possui porcentagem muito baixa de matéria seca MS nos tubérculos, faz a esta ser recomendada para o consumo na forma cozida ou assada. Atualmente é a cultivar mais plantada no Brasil (ABBA, 2006).

3.3 Delineamento experimental e características das parcelas

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições e seis tratamentos. As parcelas experimentais constituíram-se de seis linhas de quatro metros de comprimento cada, onde 0,5 m no início e final de cada linha foram descartados considerados bordadura, portanto sem avaliações. O espaçamento foi de 0,75 m entre linhas, o tamanho das parcelas foi de 18,0 m² e as parcelas úteis mediram 13,5 m².

3.4 Instalação e condução do experimento

O preparo de solo foi realizado de forma convencional com a seguinte sequência de operações: uma gradagem pesada, escarificação e uma gradagem leve às vésperas do plantio.

Os sulcos de plantio foram abertos mecanicamente, com sulcadora-plantadora e em seguida realizou-se a distribuição do fertilizante formulado 08-28-16 na dosagem de 350 kg ha⁻¹ manualmente. Posteriormente o fertilizante foi incorporado ao solo, com auxílio de enxada, e os tubérculos-semente (tipo III) foram distribuídos manualmente, no espaçamento de 0,20 m entre eles, sobre os tubérculos no sulco de plantio com pulverizador costal pressurizado a CO₂, com pressão constante de 60 lbf.pol⁻², munido de uma barra com três pontas de pulverização do tipo leque 110.02, regulado para uma vazão com o volume de calda equivalente a 30 L ha⁻¹, fez-se aplicação de fungicida protetor e inseticida. Depois com o uso de uma enxada os tubérculos foram cobertos com solo. A emergência das plantas ocorreu 14 dias após o plantio. Aos 30 dias após a emergência (DAE) realizou-se a operação de amontoa e aplicação de 150 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 20-05-20 aplicados em cobertura.

Na área do experimento, houve suplementação hídrica por meio da irrigação por aspersão. As plantas receberam a quantidade de água necessária para pleno desenvolvimento em todo o período de cultivo (entre 450 a 550 mm).

O fornecimento do titânio foi realizado de acordo com os tratamentos descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Descrição dos tratamentos utilizados no experimento. Uberlândia, MG, 2014.

Tratamentos	Doses ha ⁻¹	
	mL.p.c. ⁽¹⁾	g.Ti ⁽²⁾
1. Testemunha	--	--
2. Tytanit® ⁽³⁾	1200	10,2
3. Tytanit®	1800	15,3
4. Tytanit®	2400	20,4
5. Tytanit®	2700	22,9
6. Tytanit®	3000	25,5

⁽¹⁾ mL.p.c.: mililitros de produto comercial, ⁽²⁾ g. Ti: gramas de titânio, ⁽³⁾ fertilizante composto por 8,5 g L⁻¹ de Ti solúvel, 50,0 g L⁻¹ de MgO solúvel e 10 g L⁻¹ de SO₃ solúvel.

Um terço da dose foi aplicado na fase de crescimento, um terço na tuberização e um terço no enchimento de tubérculos. As aplicações foram iniciadas quando as plantas apresentavam 3-6 folhas estágio 13-16 segundo a escala BBCH (MEIER et al, 2001) e

com intervalo de 15 dias para segunda e 13 dias para a terceira aplicação. Assim, as aplicações foram aos 23, 36 e 50 dias após a emergência. Utilizou-se um pulverizador costal pressurizado a CO₂, com pressão constante de 60 lbf.pol⁻², munido de uma barra com três pontas de pulverização do tipo leque 110.02, regulado para uma vazão com o volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹.

Tabela 4: Tratamento fitossanitário utilizado na condução do experimento. Uberlândia, MG, 2014.

Dias após a emergência (DAE)	Ingrediente ativo	Dose ⁽¹⁾ g do i.a. ha ⁻¹
no plantio	Fipronil	160
no plantio	Fluazinam	500
33	Casugamicina	40
33	Tiametoxam	200
40	Casugamicina	40
40	Tiametoxam	200
46	Hidróxido de cobre	1074,8
46	Casugamicina	40

⁽¹⁾ g i.a.: gramas de ingrediente ativo por hectare

3.5 Determinações realizadas

3.5.1 Teor de clorofila na folha (SPAD)

Para determinar a quantidade de clorofila na folha foi utilizado clorofilômetro *Soil Plant Analysis Development*, (SPAD, marca Minolta, modelo SPAD-502), que permite leituras instantâneas do teor relativo de clorofila na folha sem destruí-la. Uma planta por linha nas três linhas centrais foi selecionada aleatoriamente. Estas plantas foram marcadas com uso de uma fita cor vermelha e as avaliações mensuradas sempre nas mesmas plantas em cada parcela, sempre entre as 9:00 e 12:00 horas, nas folhas do estrato superior, em perfeito estado ou seja, livre do ataque de pragas ou doenças, completamente expandidas, com medições realizadas previamente, aos 5 e 10 dias após a primeira aplicação (DAA¹), previamente, 5 e 10 dias após a segunda aplicação (DAA²) e previamente, 5 e 10 dias após a terceira aplicação dos tratamentos (DAA³).

3.6 Procedimentos de coleta do material vegetal

Para avaliar a atividade das enzimas e o teor de nutrientes nas folhas, coletou-se uma folha completamente expandida no terço médio de cinco plantas de acordo com a metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1989). As coletas ocorreram entre oito e dez horas da manhã aos 10 dias após aplicação de cada parcela de doses de Ti.

As folhas foram imediatamente acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados, envolvidos por papel alumínio, colocadas em caixa de isopor com nitrogênio líquido a fim de paralisar todas as reações e em seguida encaminhada para o laboratório do Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP) da Faculdade de Engenharia e Ciências Agrárias do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Estas amostras ficaram armazenadas em freezer e mantidas sob baixas temperaturas até o momento da realização das análises.

3.7 Determinações bioquímicas

3.7.1 Enzima nitrato redutase

A atividade da enzima nitrato redutase (ANR - EC 1.6.6.1) foi avaliada seguindo a metodologia proposta por Cataldo (1975), onde amostras de 200 g de folhas foram cortadas em pedaços pequenos colocados em tubos de ensaio de 15 mL contendo 4 mL de KNO_3 0,25 M em tampão fosfato. Os tubos de ensaio foram tampados, envolvidos em papel de alumínio e mantidos em banho maria a 35°C durante 2 h, agitando-os de 5 em 5 minutos. Em seguida foi pipetado 1 mL da solução de cada tubo de ensaio para balão volumétrico de 50 mL para cada um dos respectivos tratamentos. Depois adicionou-se H_2O destilada até completar 25 mL do balão e a seguir 1 mL de ácido sulfanílico. A solução foi mantida em repouso de 5 a 10 minutos. Posteriormente foi adicionado 1 mL de alfa-naftalamina e 1 mL do tampão de acetato de sódio e completou-se o volume a 50 mL com H_2O destilada. A análise foi realizada depois de 10 e antes de 30 minutos no Espectrômetro, o qual foi ajustado ao valor zero com água destilada, a uma leitura de 540 nm.

3.7.2 Enzima Urease

A atividade da urease (E.C 3.5.1.5) foi determinada adaptando os métodos propostos por Hogan, Swift e Done (1983).

A determinação do N-NH_4 foi realizada de acordo com a metodologia proposta por McCullough (1967), com algumas adaptações. Após o reagente I [Fenol ($0,1 \text{ Mol L}^{-1}$) + nitroprussiato de sódio ($170 \mu\text{M}$)] e em seguida, adicionou-se 1 mL do reagente II [NaOH ($0,125 \text{ Mol L}^{-1}$) + $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{ H}_2\text{O}$ ($0,15 \text{ Mol L}^{-1}$) + hipoclorito de sódio (3% Cl)] para extrair a amônia retida aos tecidos foliares. Em seguida foi feita a leitura em espectrofotômetro a 625 nm. A atividade da enzima foi determinada pela quantidade de amônio (NH_4^+) produzida, sendo, que os valores encontrados foram comparados com

uma curva padrão de amônio, previamente estabelecida, utilizando NH_4Cl . Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol de NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ MF}$.

3.7.3 Concentração de prolina (P, $\mu\text{mol de prolina g MF}^{-1}$)

O extrato para a determinação de prolina foi obtido pela adição de 8 mL de ácido sulfossalicílico a 3% em cerca de 100 mg de pó liofilizado das folhas, sendo a mistura deixada em agitação constante por uma hora à temperatura ambiente (25°C). Após esse período, o material foi centrifugado a $3.000 \times g$ por 10 minutos por 40 minutos, à temperatura ambiente, sendo o precipitado descartado e o sobrenadante (extrato) usado para a determinação de prolina livre pelo método descrito por Bates *et al.* (1973). Como padrão foi utilizado a prolina pura e os resultados expressos em $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MS}$.

3.7.4 Atividade da enzima superóxido dismutase

A determinação da atividade da SOD levou em consideração a capacidade da enzima em inibir a foto-redução do NBT (azul de nitrotetrazólio cloreto). A atividade foi determinada pela adição de 50 μL de extrato bruto a uma solução contendo 13 mM de metionina, 75 μM de NBT, 100 nM de EDTA e 2 μM de riboflavina em 3,0 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7.8. A reação foi iniciada pela iluminação dos tubos, em câmara composta por tubos fluorescentes (15 W), a 25°C . Após 5 minutos de incubação, o final da catálise foi determinado pela interrupção da luz, conforme proposto por (GIANNOPOLITIS e RIES, 1977).

3.7.5 Atividade da enzima catalase

A atividade da enzima catalase (EC 1.11.1.6) foi mensurada através de espectrofotômetro a 240 nm, pelo monitoramento da variação na absorção do peróxido de hidrogênio, conforme proposto por Peixoto et al. (1999).

3.7.6 Determinação da atividade das peroxidases (POD)

A atividade da POD (POD – EC 1.11.1.7), também denominada pirogalolperoxidase foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Knorzer *et al.*, citados por Teisseire & Guy (2000).

3.7.7 Peroxidação lipídica

Foi determinada de acordo com a técnica de Health e Packer (1968) citados por Rama Devi e Prasad (1998). Os resultados foram expressos em nmol de substância reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) por grama de matéria fresca.

3.8 Teores de nitrogênio (N), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) nas folhas e tubérculos.

A amostra para avaliação de teores de nutrientes nas folhas foi a mesma utilizada para determinações bioquímicas. Para avaliação dos teores dos nutrientes nos tubérculos utilizou-se amostra de 500 g de tubérculos frescos colhidos em cada parcela. Os teores de nutrientes nas folhas e tubérculos foram determinados de acordo com a metodologia proposta por EMBRAPA (2009).

3.9 Produtividade e classificação de tubérculos

A colheita foi realizada no final do ciclo da cultura, aos 90 dias após o plantio. Os tubérculos de todas as plantas contidas nas 4 linhas centrais de cada parcela, desprezando 0,5 m de cada extremidade da parcela, foram colhidos manualmente. Os tubérculos foram lavados, pesados para determinar a massa média, o diâmetro médio e classificação comercial, considerou-se o diâmetro transversal dos tubérculos que foram separados em cinco classes: classe I = diâmetro superior a 70 mm, classe II = diâmetro de 42 a 70 mm, classe III = diâmetro de 33 a 42 mm, classe IV = diâmetro de 28 a 33 mm, classe V = diâmetro inferior a 28 mm. Os dados de produtividade obtidos nas áreas úteis do experimento foram extrapolados estimando-se a produtividade em kg ha⁻¹.

3.10 Análises estatísticas

A análise de variância foi feita nas fases de crescimento, tuberação e enchimento de tubérculos pelo teste F a 5% de probabilidade. Posteriormente, ajustou-se modelo para regressão (linear, quadrática e cubica) os valores quantitativos (doses). Foi considerado o melhor modelo ajustado aquele com maior valor de R² (coeficiente de determinação). Foram estimados os pontos de máxima ou de mínima para cada variável

dependente nos modelos quadráticos e cúbicos onde, foi considerada a dose desejável, aquela que primeiro induziu o ponto de máximo ou mínimo, conforme a variável dependente em estudo. Para avaliar as diferenciações entre o teor SPAD e classificação de tubérculos em função das doses aplicou-se o teste de SCOTT-KNOTT a 5%, com análises através do programa SISVAR (FERREIRA, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliações da fase I – Crescimento

4.1.1 Índice SPAD

Não foram observadas diferenças significativas do valor SPAD das plantas de batata em função das aplicações de Ti na fase de crescimento (Tabela 5). O SPAD fornece leituras que se correlacionam com o teor de clorofila presente na folha. As clorofilas são constantemente sintetizadas e destruídas em processos que são influenciados por fatores internos e externos às plantas, neste caso os fatores internos podem ter maior influência que o fornecimento foliar de Ti. A concentração de N, de clorofilas e as leituras fornecidas pelo SPAD são altamente correlacionadas (SCHRÖDER et al., 2000). Os valores de SPAD encontrados nos tratamentos estão próximos aos valores considerados críticos por Silva et al. (2009) e Rodrigues et. al (2000), 42,2 e 39,6 unidades SPAD, respectivamente.

TABELA 5: Valor SPAD de plantas de batata na fase de crescimento em função de doses de Ti. Uberlândia-MG, 2014.

Doses Ti g ha ⁻¹	Valor SPAD		
	Previa	5 DAA ¹	10 DAA ¹
0	44,45a*	43,24a	43,65a
3,4	42,85a	43,22a	43,88a
5,1	42,08a	42,28a	43,65a
6,8	44,68a	42,34a	41,50a
7,6	43,02a	43,79a	42,94a
8,5	43,07a	42,43a	43,33a
CV (%)	1,76	2,09	1,95
Médias	43,28	42,96	43,30

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si nas colunas pelo teste de SCOTT-KNOTT (p<0,05); DAA¹: dias após a primeira aplicação; média de quatro repetições; CV (%): coeficiente de variação.

4.1.2 Absorção de nutrientes

O teor de N não apresentou diferença entre as doses estudadas pela análise de variância a 5%. Os teores de N encontrados (Tabela 6) sugerem que não houve toxidez ou deficiência nessa fase, já que Lorenzi et al (1997) define o intervalo de 40 a 50 g kg⁻¹ de N como ideal para cultura da batata. Na fase de crescimento há um intenso acúmulo de N na batateira, Fontes (2001) afirma que a concentração de N na folha reduz com a idade da planta amostrada e a variação em seu teor pode ser explicada por mecanismos que envolvem a absorção, acumulação e distribuição do elemento na planta, bem como

o desenvolvimento e translocação para o dreno (tubérculo).

O teor de Cu nas folhas não foi influenciado pelas doses de Ti. As plantas podem regular a homeostase em resposta as variações ambientais através de uma complexa rede de transportadores envolvidos no equilíbrio intracelular a fim de evitar o acúmulo de Cu (YRUELA, 2009). Os teores de Cu variaram de 4,73 a 6,69 mg kg⁻¹, valores considerados inferiores aos ideais propostos por Jones Junior (1991) e Lorenzi et al. (1997), que são de 7 a 20 mg kg⁻¹. Não foram observados sintomas visuais de deficiência deste nutriente e o solo possuía um teor de 0,7 mg dm³ que foi suficiente para fornecer este nutriente à cultura.

TABELA 6: Teores médios de nitrogênio (g kg⁻¹), cobre, ferro, manganês e zinco (mg kg⁻¹) na folha da batata na fase de crescimento, em função de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.

Doses Ti g ha ⁻¹	Nutrientes				
	N (g kg ⁻¹)	Cu	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn	Zn
0	41,47	5,21	1285,62	61,53	18,97
3,4	40,62	6,69	1814,02	59,38	21,38
5,1	41,47	4,73	1060,10	55,16	21,83
6,8	42,10	5,32	1541,06	55,62	17,94
7,6	41,82	5,00	832,02	45,10	18,21
8,5	41,12	4,94	1367,96	40,58	23,93
CV (%)	6,16	19,23	17,00	18,76	16,77
	ns	ns	*	*	*

CV: coeficiente de variação; ns: não significativo e * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Os teores de Fe, Mn e Zn foram influenciados pelas doses de Ti. Para o Mn a não aplicação de Ti resultou em absorção máxima nessa fase (relação linear negativa) conforme figura 2. Malinowska e Kalembasa (2012) relataram que duas aplicações foliares com o fertilizante Tytanit nas doses entre 0,0001% e 3,6% mostraram um efeito de redução na absorção de Mn em folhas de aipo (*Apium graveolens* L.). Este comportamento sugere que o Ti por ser um íon bivalente, assim como o Mn, pode resultar numa inibição competitiva entre estes nutrientes. Bedrosian e Hanna (1966) relataram deficiências de Fe e Mn em *Pieris japonica* quando houve um aumento na absorção de Ti. Também Kuzel et al (2002) observaram que aplicação foliar de Ti com dose de 50 mg na fase de crescimento reduziram em 1,52 vezes o teor de Mn na massa seca de folhas de aveia.

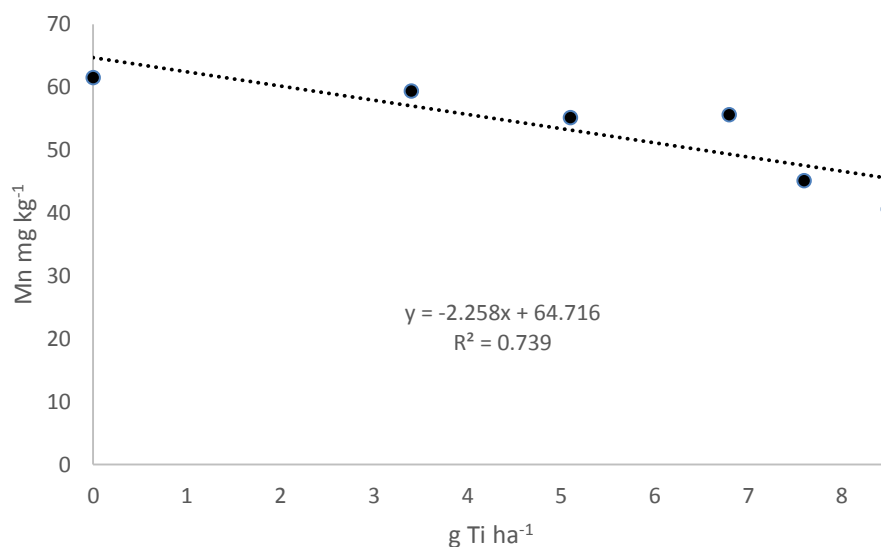


FIGURA 2: Teor de Mn na folha na fase de crescimento em função de aplicação de doses de Ti Uberlândia, MG, 2014.

As doses de Ti que proporcionaram as máximas absorções para Fe e Zn foram 1,66 e 2,05 g Ti ha⁻¹ respectivamente. O ajuste ao modelo cúbico e doses para absorção máxima destes nutrientes com valores próximos sugere resposta semelhante para ambos nesta fase. O comportamento para Zn mostrou-se dependente de dose (Figura 3), de fato, Haghighi et al. (2012) verificou que os níveis deste nutriente na folha de tomate variou em função das doses de Ti, onde a dose de 1 mg L⁻¹ resultou em incrementos e a dose de 2 mg L⁻¹ resultou em redução dos teores de Zn nas folhas.

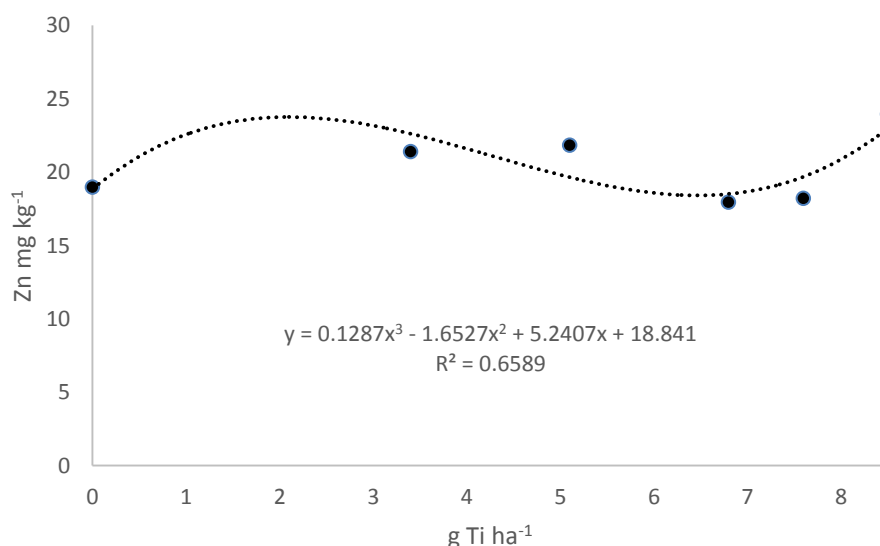


FIGURA 3: Teor de Zn na folha na fase de crescimento em função de aplicação de doses de Ti Uberlândia, MG, 2014.

O teor de Fe verificado foi ajustado ao modelo cubico conforme Figura 4, porém o R^2 observado é considerado baixo para explicar o comportamento deste nutriente em função das doses de Ti, nota-se tendência de redução de sua absorção a partir de doses de 2,13 g Ti ha⁻¹.

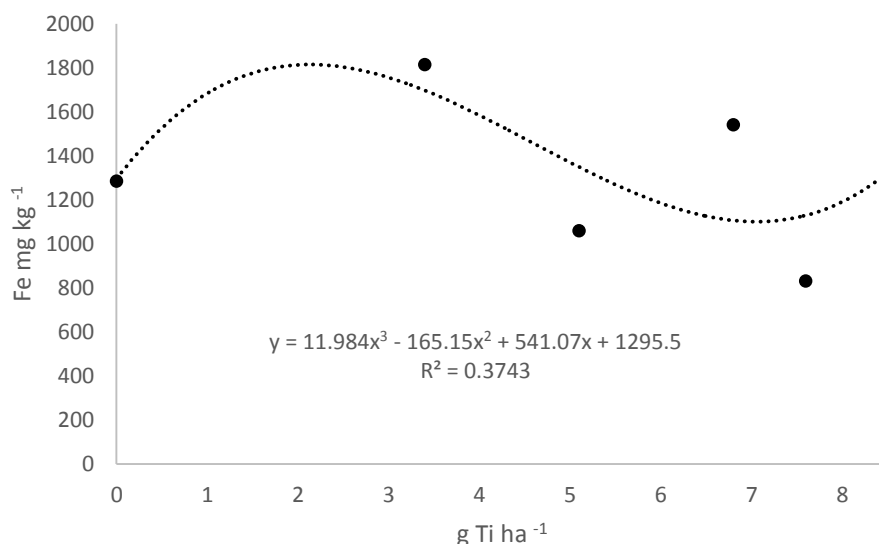


FIGURA 4: Teor de Fe na folha na fase de crescimento em função de aplicação de doses de Ti Uberlândia, MG, 2014.

As equações dos modelos ajustados bem como os coeficientes de determinação encontram-se na Tabela 7.

TABELA 7: Equações de regressão e os coeficientes de determinação (R^2), teor de nutrientes ferro, manganês e zinco (mg kg⁻¹) na fase de crescimento em função de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.

Variável	Equação	R^2 (%)
Fe	$11,984x^3 - 165,15x^2 + 541,07x + 1295,5$	37,43
Mn	$-2,258x + 64,716$	73,90
Zn	$0,1287x^3 - 1,6527x^2 + 5,2407x + 18,841$	65,89

4.1.3 Análises bioquímicas

Os teores médios das enzimas ANR, urease, SOD, POD, CAT, encontram-se na Tabela 8, a seguir. Nesta fase constatou-se aumento da ANR com o aumento das doses. Este comportamento está evidenciado na Figura 5. Houve ajuste ao modelo linear com relação positiva para as doses estudadas. Realça-se o fato de tratar-se da fase de máximo crescimento das plantas onde há grande demanda de compostos nitrogenados. A assimilação do N via nitrato é fundamental e a atividade da nitrato redutase pode ser indicativo de desenvolvimento vegetativo e suprimento de N adequado. O N é um dos

nutrientes de maior impacto na produtividade da cultura da batata, por afetar positivamente o crescimento do comportamento vegetativo da planta (YIN et al., 2003). Isso sugere que a enzima possa ter sido ativada pelo substrato já que os níveis de N encontravam-se dentro dos adequados ou a aplicação de Ti favoreceu a disponibilidade de cofatores como íons metálicos, FAD, heme, Fe Mo-MPT (molibdênio-molibdopterina) e molibdênio.

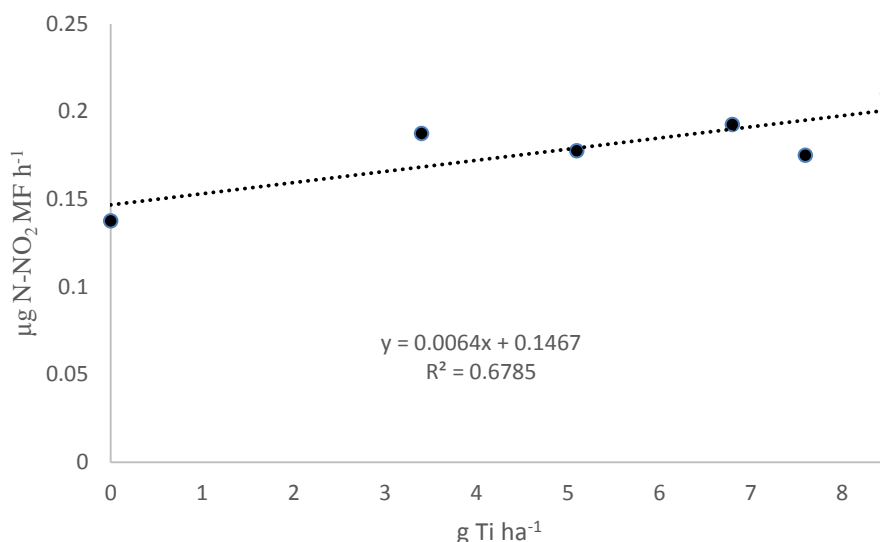


FIGURA 5: Atividade da enzima nitrato redutase na fase de crescimento em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

A atividade da urease também foi influenciada pelas doses ajustando-se a um modelo quadrático onde o tratamento controle apresentou a máxima atividade conforme Figura 6. A urease é uma metaloenzima que catalisa a hidrólise da ureia para formar NH_3 e CO_2 (DIXON et al., 1975). A equação ajustada demonstra que nesta fase, que a menor dose de Ti, que foi de $3,4 \text{ g ha}^{-1}$ já proporcionou redução da atividade da urease. A atividade desta enzima é dependente de níquel (Ni), a interferência de Ni no metabolismo de metais como Fe induzindo a deficiência deste nutriente já foi constatada em trabalhos realizados como os de Chaney (1970) e Agarwala (1977). A aplicação de Ti parece inibir a absorção de Ni e reduzir a atividade da uréase nesta fase.

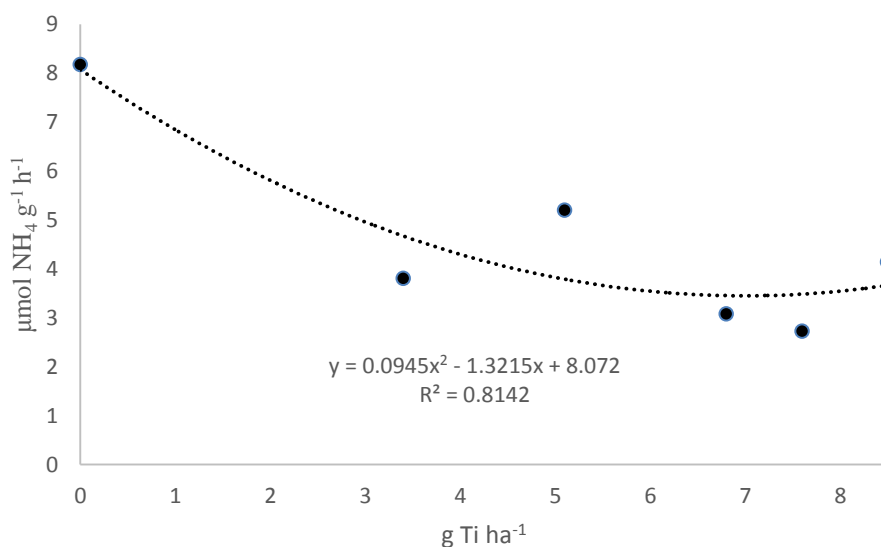


FIGURA 6: Atividade a enzima uréase na fase de crescimento em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

O comportamento da prolina ajustou-se ao modelo cúbico e a aplicação de 2,68 g ha⁻¹ resultou em máximo teor (Figura 7). Este aminoácido atua como um marcador bioquímico de alterações metabólicas geradas por diferentes tipos de estresse (LIMA et al., 2004) e não é sintetizado apenas pela via do glutamato, mas também pelo ciclo arginina/ornitina que é a mesma rota da urease. Nesta fase observou-se que a síntese prolina pode ser favorecida pela baixa atividade da urease.

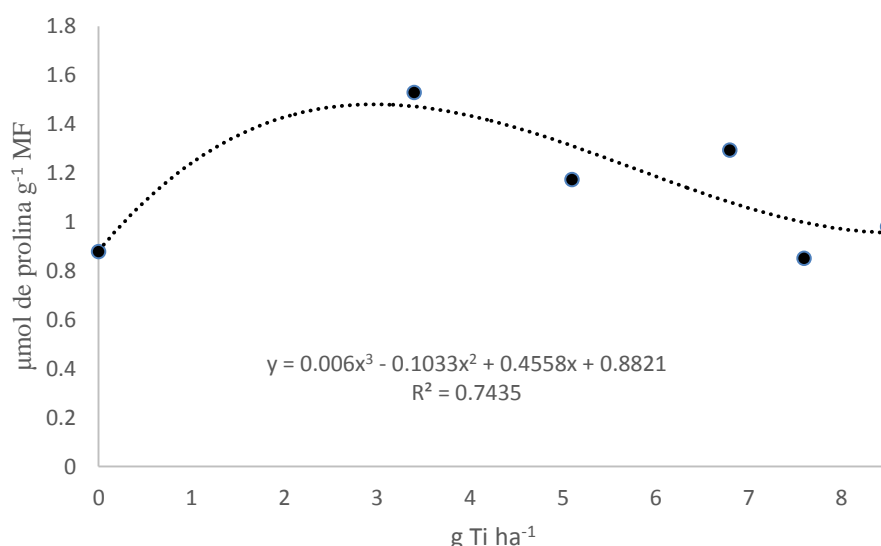


FIGURA 7: Teor de prolina na fase de crescimento em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

TABELA 8: Teores médios de Prolina, Peroxidação lipídica e atividade das enzimas ANR, Urease, SOD, POD e CAT em função de doses de titânio. Uberlândia-MG. 2014.

Dose Ti g ha ⁻¹	ANR (µg N-NO ₂ MF h ⁻¹)	Urease (µmol NH ₄ g ⁻¹ h ⁻¹)	Prolina (µmol de prolina g ⁻¹ MF)	SOD (U µg proteína ⁻¹)	POD (µmol min ⁻¹ µg proteína ⁻¹)	CAT (nmol TBARS g MF ⁻¹)	PL (nmol TBARS g MF ⁻¹)
0	0,13	8,18	0,87	2,42	0,14	17,67	13,95
3,4	0,18	3,81	1,52	1,02	0,13	8,47	11,65
5,1	0,17	5,19	1,17	1,48	0,15	17,96	11,25
6,8	0,19	3,08	1,29	3,44	0,15	9,79	9,92
7,6	0,17	2,72	0,85	1,19	0,18	20,52	9,84
8,5	0,21	4,14	0,98	1,83	0,17	4,20	14,15
CV (%)	18,35	5,95	16,34	8,49	11,28	9,91	18,41
	*	*	*	*	*	*	*

CV: coeficiente de variação; ns: não significativo e * significativo a 5% de probabilidade.

A atividade das enzimas SOD, POD e CAT foram influenciada pelos tratamentos, sendo que SOD e CAT ajustaram-se ao modelo cúbico e POD ao modelo linear positivo (Tabela 9). O balanço entre as atividades de SOD, POD ou CAT nas células é crucial para a determinação do nível dos radicais superóxidos e H₂O₂ (MITTLER, 2002). Como do teor de Mn foi reduzido com as aplicações de Ti (Tabela 6) isto pode ter alterado a atividade da SOD. A enzima POD é envolvida em processos de tolerância a estresses, inclusive por metais pesados (PASSARDI et al., 2005). A maior dose de Ti estudada (8,5 g ha⁻¹) proporcionou um incremento de até 21%, da atividade da POD. Assim é interessante verificar o efeito de doses maiores que as aqui aplicadas, principalmente em situações de ocorrência de estresse. A variação da atividade da CAT foi explicada em quase 50% pelas doses de Ti. Com ajuste em uma equação cubica, (Tabela 9) com ponto de mínima na dose 1,8 g ha⁻¹ e máxima 6,1 g ha⁻¹, dentro intervalo estudado, decrescendo nas menores doses de Ti. Este comportamento contrariam os resultados de Carvajal et al. (1994), que verificaram aumento linear da atividade da enzima CAT em função da aplicação de Ti em pimentas (*Capsicum annuum*).

O comportamento da peroxidação lipídica (PL) pode ser verificado na Figura 8. Esta variável reflete uma cascata de eventos bioquímicos resultantes da ação de radicais livres sobre as membranas celulares, levando à destruição de sua estrutura, falência dos mecanismos de troca de metabólitos e, numa condição extrema, à morte celular (BENZIE, 1996). As alterações nas membranas levam a transtornos da permeabilidade, alteram o fluxo iônico e o fluxo de outras substâncias, o que resulta na perda da

seletividade para entrada e/ou saída de nutrientes e substâncias tóxicas à célula, alterações da expressão de genes, oxidação e comprometimento dos componentes da matriz extracelular (VACA, WILHEM, HARMS-RINGDAHL, 1988; BABER, HARRIS, 1994). Em geral a PL apresentou valores estimados inferiores ao tratamento controle sem aplicação do Ti e isto é desejável pois confirma que a atividade das enzimas SOD, CAT e POD foram em função do Ti e não em resposta a um estresse biótico ou abiótico.

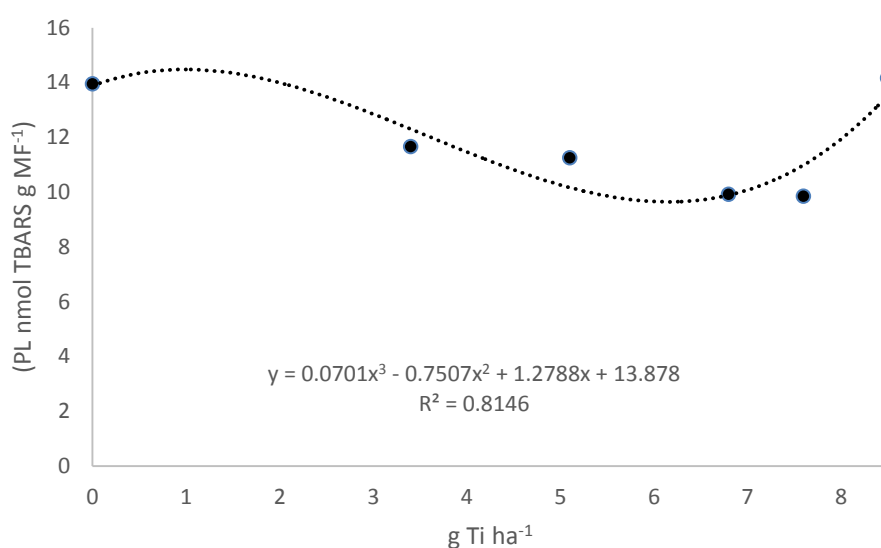


FIGURA 8: Peroxidação lipídica na fase de crescimento em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

TABELA 9: Equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2), de análises bioquímicas ANR, Urease, Prolina, SOD, POD, CAT e PL em função de aplicação de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.

	Equação	R^2 (%)
ANR	$0,0064x + 0,1467$	67,85
Urease	$0,0945x^2 - 1,3215x + 8,072$	81,41
Prolina	$0,006x^3 - 0,1033x^2 + 0,4558x + 0,8821$	74,35
SOD	$-0,0366x^3 + 0,5001x^2 - 1,7127x + 2,421$	41,31
POD	$0,0048x + 0,132$	63,22
CAT	$-0,2797x^3 + 3,5436x^2 - 11,281x + 17,636$	49,58
PL	$0,0701x^3 - 0,7507x^2 + 1,2788x + 13,878$	81,46

4.2 Avaliações da fase II - Tuberização

4.2.1 Índice SPAD

Foram observadas diferenças significativas em função dos tratamentos com Ti aos 10 dias após a segunda aplicação (Tabela 10). Os tratamentos que receberam aplicações de Ti apresentaram valor SPAD superior quando comparados ao controle. Entre os fatores que influenciam na síntese de clorofila, os nutrientes minerais se destacam não só por integrarem a estrutura molecular das plantas, mas também por atuarem em alguma etapa das reações que levam à síntese desses pigmentos (TAIZ & ZEIGER, 2004). A diferença do índice SPAD encontrada aos 10 dias após a aplicação pode ser atribuída também ao adequado teor de N, assim as plantas permanecem mais verdes. Vos e Bom (1993) encontraram correlação positiva entre teor de N e teor de clorofila na folha da batata, indicando que o teor de clorofila na folha está diretamente relacionado com o estado de N da planta.

TABELA 10: Valor SPAD de plantas de batata na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia-MG, 2014.

Doses Ti g ha ⁻¹	Valor SPAD		
	Previa	5 DAA ²	10 DAA ²
0	44,10a*	42,76a*	42,34b*
6,8	42,60a	43,39a	43,04a
10,2	43,33a	42,58a	42,96a
13,6	44,22a	42,98a	42,95a
15,2	44,35a	42,56a	42,98a
17,0	44,66a	42,95a	43,36a
CV (%)	2,03	0,64	0,50
Médias	43,91	42,88	42,89

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si nas colunas pelo teste de SCOTT-KNOTT (p<0,05); DAA²: dias após a segunda aplicação, média de quatro repetições; CV (%): coeficiente de variação.

4.2.2 Absorção de nutrientes

Os teores de nutrientes após a segunda parcela das doses encontram-se na Tabela 11. Não foram observadas diferenças significativas em função da aplicação com Ti, nesta fase para o teor de N, mantendo comportamento observado na fase de crescimento. Nota-se que o teor de N é semelhante ao encontrados na fase de crescimento onde a demanda para desenvolvimento da planta é maior. Isso sugere que a aplicação foliar de Ti não exerce influência na absorção deste nutriente nesta fase. De acordo com Cabalceta et al. (2005), a quantidade de N absorvida pela batata na fase inicial do ciclo é acumulada principalmente na parte aérea. Na fase de tuberização, existe grande demanda deste nutriente para ser posteriormente remobilizado para o desenvolvimento dos tubérculos.

Em relação ao Cu, apesar de não haver diferenças significativas entre as doses de Ti, nota-se que os teores de Cu nas folhas encontravam-se altos. O cobre também é muito utilizado na bataticultura na forma de sulfato, de oxicloreto ou de hidróxido de cobre como produto para tratamento fitossanitário. Esses valores indicam possível aumento dos teores deste elemento em função da aplicação de fungicida cúprico. Fernandes et al (2011), trabalhando com diferentes cultivares de batata, também verificaram acúmulo deste nutriente na fase de tuberização, no entanto o teor de Cu foi 41 mg kg⁻¹ para cultivar Ágata.

TABELA 11: Teores médios de nitrogênio (g kg⁻¹), cobre, ferro, manganês e zinco (mg kg⁻¹) na folha da batata na fase de tuberização em função de doses de titânio. Uberlândia-MG, 2014.

Dose Ti g ha ⁻¹	Nutriente				
	N	Cu	Fe	Mn	Zn
	(g kg ⁻¹)		(mg kg ⁻¹)		
0	36,50	156,82	1158,70	53,23	20,89
6,8	39,17	180,92	1037,84	56,32	15,59
10,2	40,02	168,07	1082,56	31,89	20,48
13,6	39,40	154,54	1900,51	53,53	21,58
15,2	39,05	217,07	1161,34	52,07	19,00
17,0	38,95	196,76	1710,99	67,31	30,07
CV (%)	5,76	21,20	28,72	22,79	15,10
	ns	ns	*	*	*

CV: coeficiente de variação; ns: não significativo e * significativo a 5% de probabilidade.

Para o teor de Fe o ajuste ao modelo quadrático apresentou coeficiente de determinação de apenas 40% (Figura 9). O teor mínimo de Fe foi observado na dose de 4,07 g Ti ha⁻¹. Fernandes et al (2011) afirma que é esperado um aumento nos teores de

Fe nesta fase, para que haja maior atividade metabólica para formação dos tubérculos. Carvalho et al. (1992) em trabalho com pimentas (*Capsicum annuum*, L.), verificaram que o Fe foi o nutriente mais influenciado com a aplicação de Ti. Isto levou a concluir que esses elementos tenham funções muito similares no metabolismo das plantas.

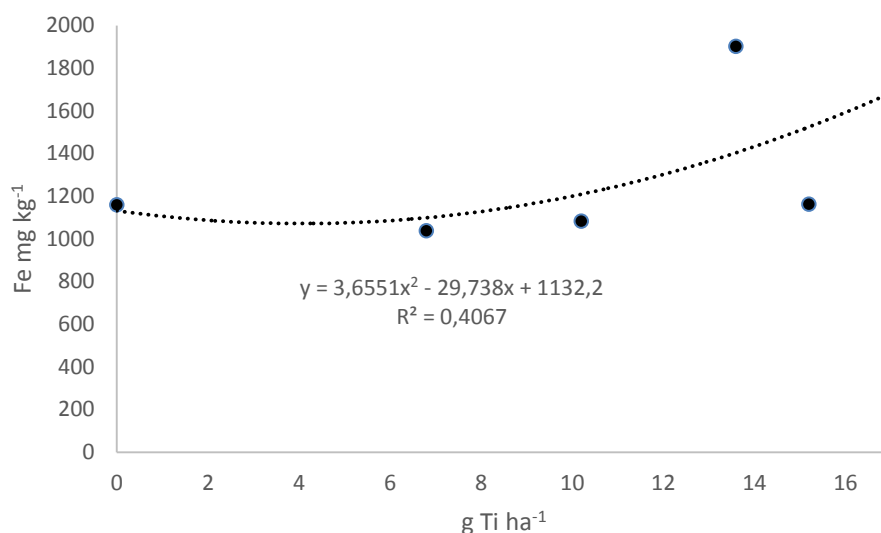


FIGURA 9: Teor de Fe nas folhas na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

O ajuste ao modelo cúbico para os teores de Mn indica que existe uma variação deste nutriente em função das doses de Ti (Figura 10). O Mn ocorre na seiva das plantas na forma livre Mn^{2+} (GOOR e WIERSMA, 1976) e Heenan e Campbell (1980) consideraram que a concentração de Mn varia grandemente dentro da planta durante diferentes fases de desenvolvimento. O maior teor de Mn verificado nesta fase foi na dose de 17 g de Ti h⁻¹ onde observou valor 67,31 mg kg⁻¹ de Mn e um incremento de 26,45% quando comparado ao tratamento 1 sem aplicação de Ti.

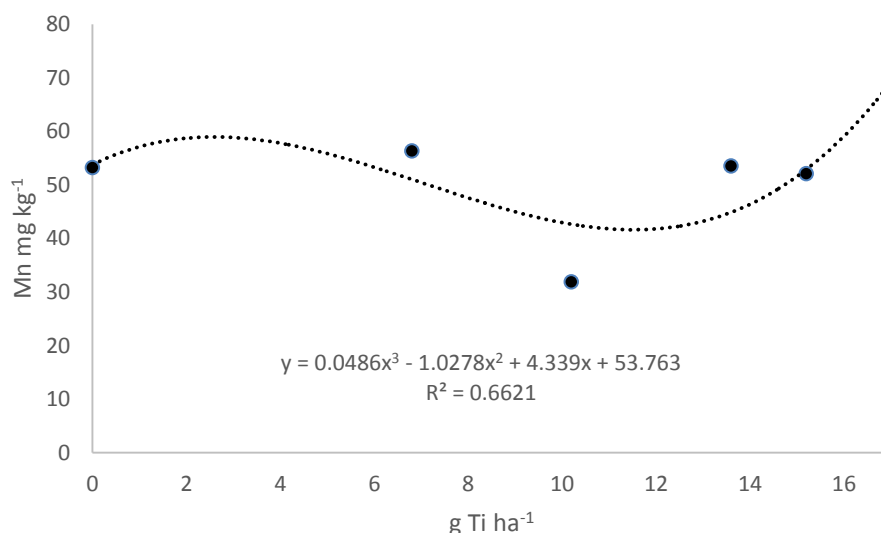


FIGURA 10: Teor de Mn nas folhas na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

Em relação ao Zn observou-se decréscimo até a dose de 6,65 g de Ti h l^{-1} (Figura 11). Em trabalho com tomates Highighi et al. (2012), também observaram que o teor de Zn na folha variou em função das doses aplicada. A dose de 1 mg L^{-1} de Ti numa solução nutritiva resultou incremento, porém quando esta dose foi duplicada o teor de Zn nas folhas diminuiu.

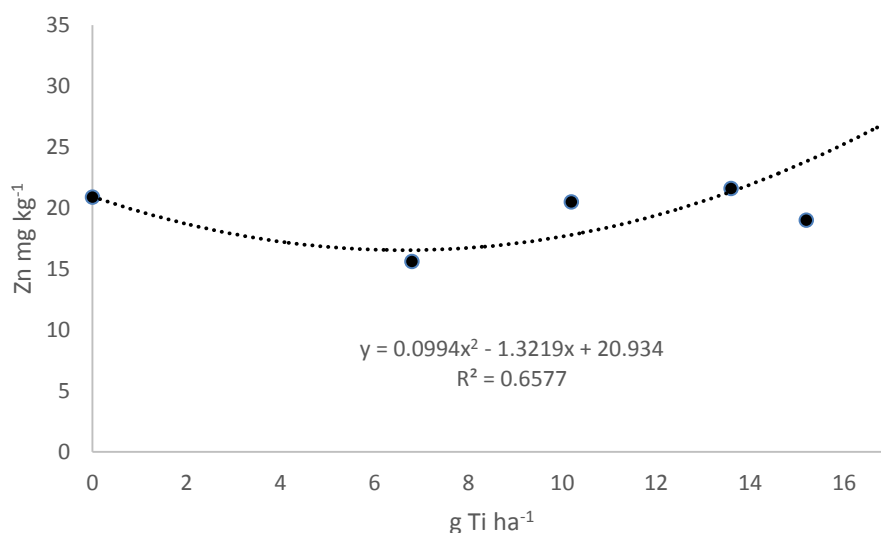


FIGURA 11: Teor de Zn nas folhas na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

TABELA 12: Equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2) de teor de nutrientes ferro, manganês e zinco (mg kg^{-1}) na fase de tuberização em função de doses de titânio. Uberlândia, 2014.

Nutriente	Equação	R^2 (%)
Fe	$3,6551x^2 - 29,738x + 1132,2$	40,67
Mn	$0,0486x^3 - 1,0278x^2 + 4,339x + 53,763$	66,21
Zn	$0,0994x^2 - 1,3219x + 20,934$	65,77

4.2.3 Análises bioquímicas

Nesta fase a atividade das enzimas ANR, urease SOD, POD e CAT foram influenciadas pela aplicação de Ti conforme Tabela 13.

TABELA 13: Teores de Prolina, Peroxidação lipídica e atividade de enzimas ANR, Urease, SOD, POD e CAT na fase de tuberização em função de doses de titânio. Uberlândia-MG, 2014.

Dose Ti g ha^{-1}	ANR ($\mu\text{g N-NO}_2$ MF h^{-1})	Urease ($\mu\text{mol NH}_4$ $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$)	Prolina ($\mu\text{mol de}$ prolina g^{-1} MF)	SOD (U μg proteína $^{-1}$)	POD ($\mu\text{mol min}^{-1} \mu\text{g proteína}^{-1}$)	CAT (nmol TBARS g MF^{-1})	PL (nmol TBARS g MF^{-1})
0	0,14	1,51	1,26	3,35	0,18	18,68	17,78
6,8	0,11	1,29	1,12	4,81	0,20	13,42	15,64
10,2	0,09	1,63	0,85	4,33	0,17	19,52	16,08
13,6	0,12	4,58	0,65	5,25	0,19	26,51	17,78
15,2	0,09	3,78	0,85	3,94	0,22	31,05	18,47
17	0,09	4,89	0,93	5,29	0,22	19,52	15,32
CV (%)	11,75	11,53	8,89	16,28	12,10	10,52	7,44
	*	*	*	*	*	*	*

CV: coeficiente de variação; ns: não significativo e * significativo a 5% de probabilidade.

A ANR ajustou-se ao modelo linear negativo com coeficiente de determinação de 52,14% (Figura 12). A redução da atividade da ANR pode ocorrer porque o metabolismo do N é reduzido e a formação da estrutura da planta já está definida. Este comportamento está de acordo com o observado por Fernandes (2011) que constatou menor acúmulo de N nesta fase com a cultivar Ágata, quando estudou a marcha de absorção de macronutrientes.

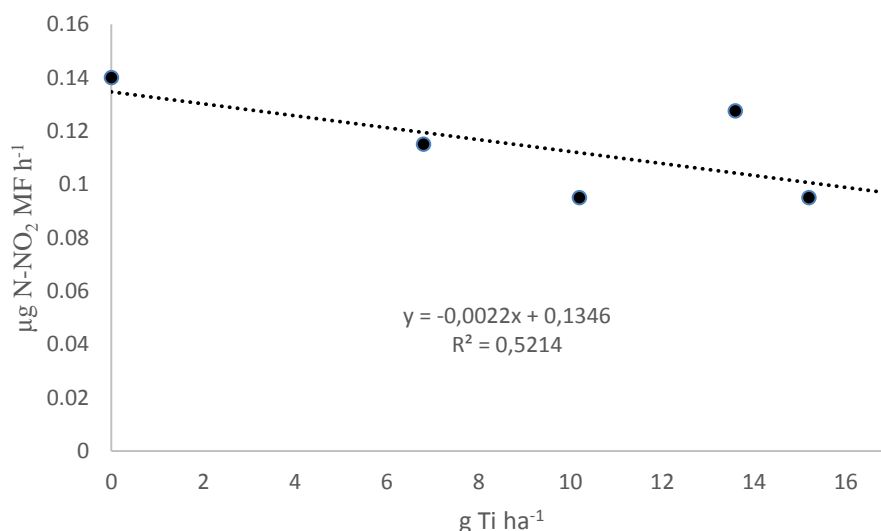


FIGURA 12: Atividade da enzima nitrato redutase na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

Até a dose de 3,98 g de Ti a atividade da urease é reduzida (Figura 13). A função principal da urease é permitir o uso da ureia gerada interna ou externamente como fonte de N. Até 47% do fluxo do N nas plantas ocorre através da ureia que é reciclado pela ação da uréase (POLLACCO e HOLLAND, 1993). Ao passo que a ANR foi reduzida a atividade da uréase aumentou para favorecer o uso do N interno.

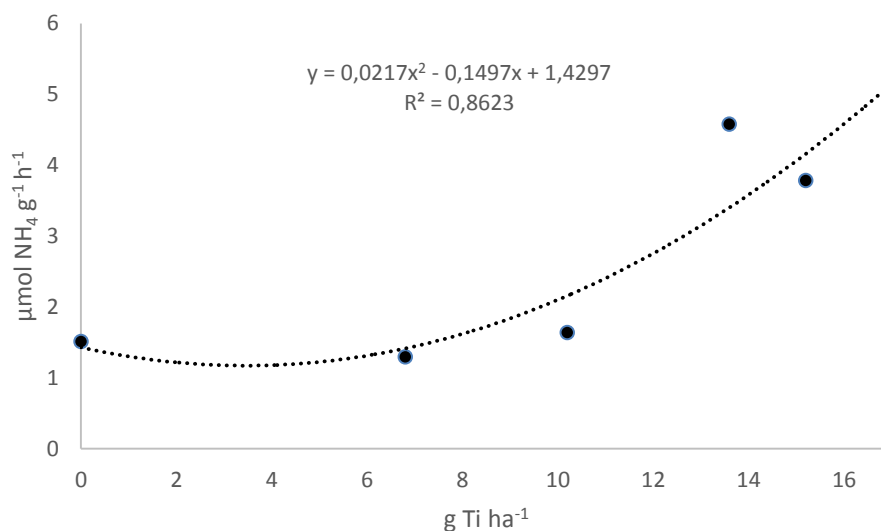


FIGURA 13: Atividade da enzima urease na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

O comportamento da prolina ajustou-se ao modelo cúbico (Figura 14), onde a não aplicação resultou no maior teor 1,26 μmol de prolina g⁻¹ MF. A aplicação de Ti

mostra-se interessante uma vez que a síntese demasiada deste aminoácido pode ser prejudicial às plantas, pois esta consome entre 0,4 e 0,6% do N total das folhas (ERNST; NELISSEN; BOOKUM, 2000) e dessa forma, a elevada síntese de prolina pode consumir parte do N que poderia ser utilizado para o enchimento de tubérculos.

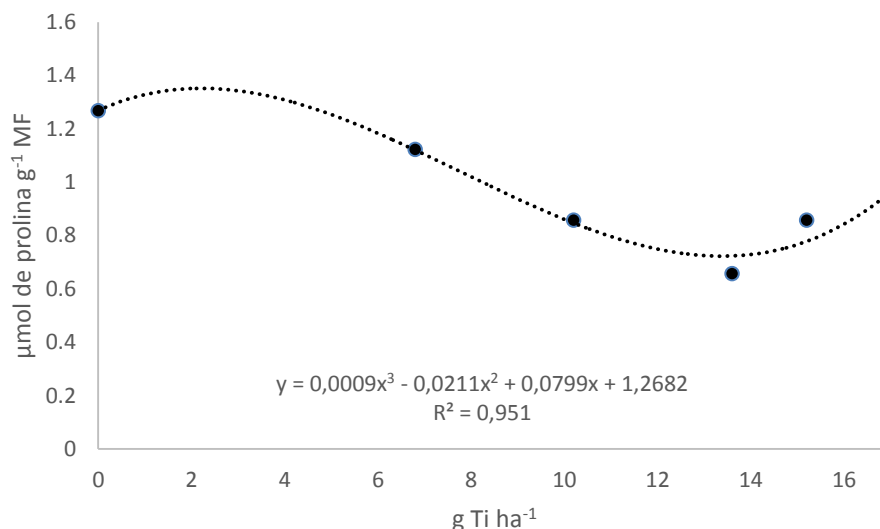


FIGURA 14: Teor de prolina na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

Nota-se o comportamento da atividade da enzima POD em função das doses de Ti de maneira cúbica conforme Figura 15. Esta enzima é amplamente distribuída em plantas superiores e envolvida em vários processos incluindo o metabolismo de lignificação, das auxinas, tolerância a estresses salinos e por metais pesados. O aumento da atividade da POD pode ocorrer em como uma resposta metabólica relacionada a diferentes tipos de estresse (ANDERSON; PRASAD; STWART, 1995; ZHANG; KIRKHAM, 1996; JIMENEZ et al, 1998 e MORAES et al., 2002). Foram observados aumentos significativos de POD após a adição de Ti em trigo e milho (PAIS, 1983), e em plantas de pimenta (*Capsicum annuum*) (CARVAJAL et al., 1994a).

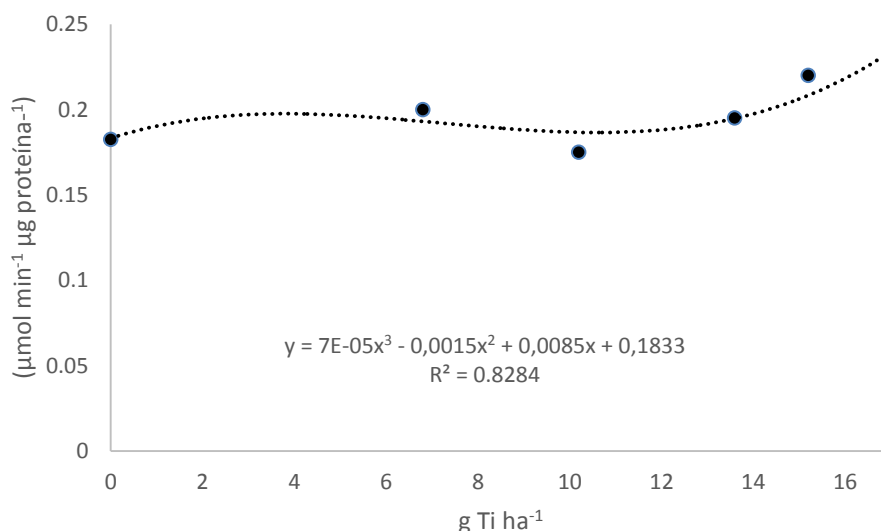


FIGURA 15: Atividade da enzima POD na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

O comportamento da atividade da enzima SOD em função das doses de Ti é observado na Figura 16. Os tratamentos que receberam aplicação de Ti apresentaram valores superiores ao controle. Esta enzima é dependente de nutrientes metálicos que atuam como cofatores, entre eles Zn, Mn, Fe e Cu desempenham função importante. As aplicações de dose de Ti favoreceram a absorção de Fe, além disso, os altos níveis de Cu observados nesta fase de desenvolvimento da cultura podem ter se refletido na maior atividade desta enzima.

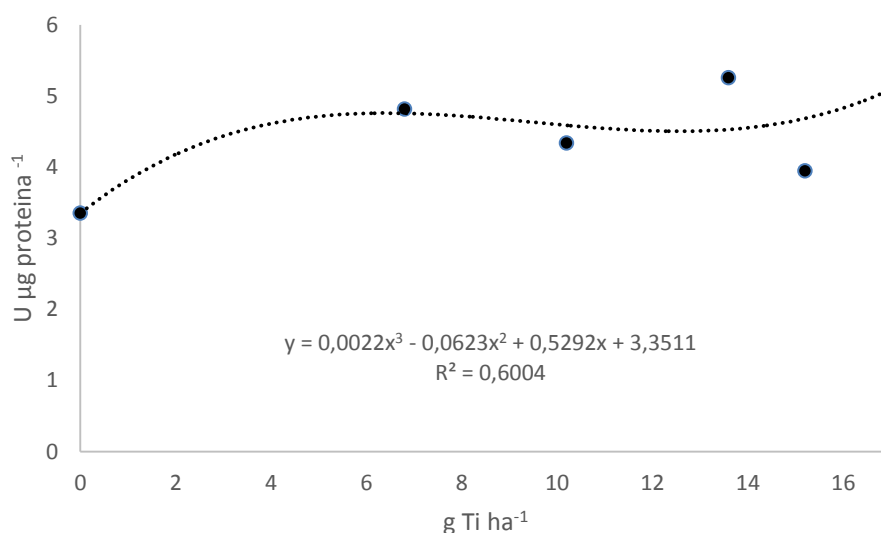


FIGURA 16: Atividade da enzima SOD na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

A atividade da CAT apresenta valor mínimo com a dose de 4,08 g de Ti ha⁻¹ e atinge o valor máximo com a aplicação de 14,86 g de Tia ha⁻¹. A partir da dose de 4,08 g de Ti ha⁻¹, observa-se aumento da atividade da CAT (Figura 17). Isso demonstra que o Ti está relacionado à ativação da enzima CAT na desintoxicação do peróxido de hidrogênio, mantendo o equilíbrio oxidativo nas células da planta. O acréscimo na atividade desta enzima é destacado como uma via de defesa em plantas, pois ela protege as estruturas celulares (GUNES et al, 2007).

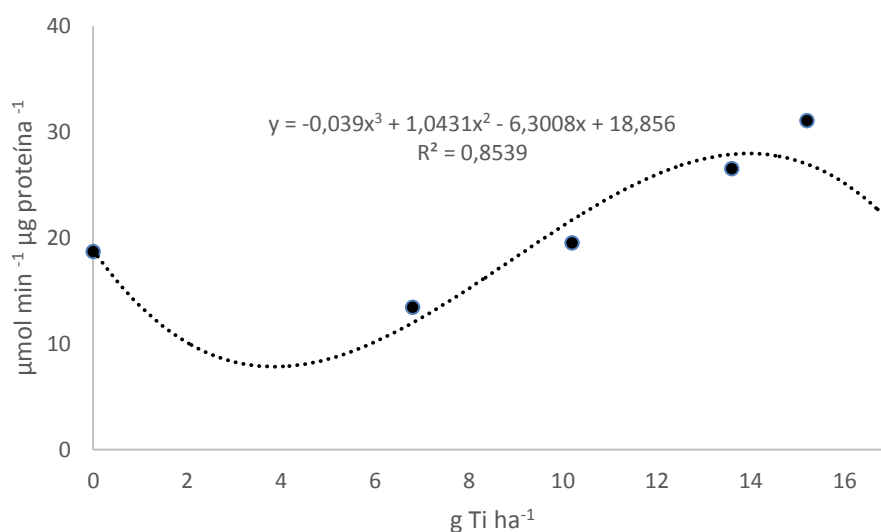


FIGURA 17: Atividade da enzima catalase na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

A quantificação de PL serve como indicativo de dano celular causado por radicais livres, o comportamento ajustou-se ao modelo cúbico (Figura 18), com valores de PL em função das doses abaixo do tratamento controle sem aplicação de Ti. O aumento da produção de ERO é apontado como mecanismo da toxicidade de diversos metais. Desta forma pode-se inferir que não houve toxidez causada pelas doses de Ti.

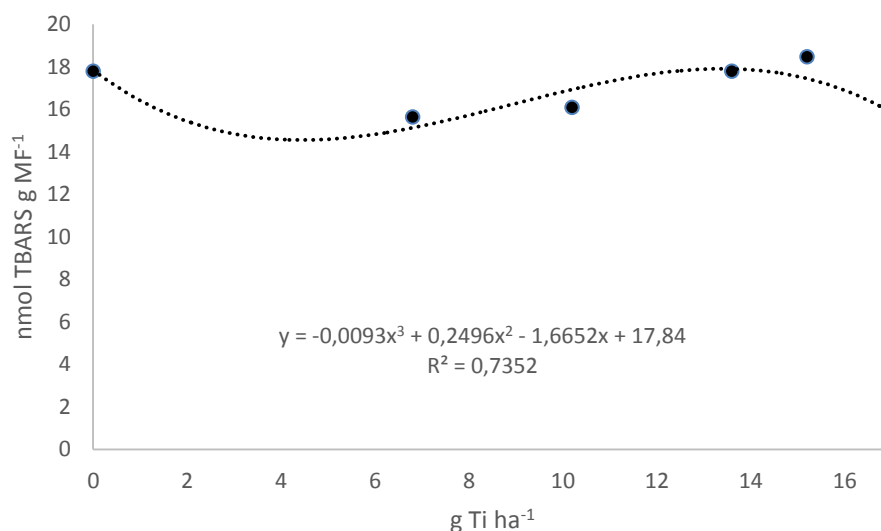


FIGURA 18: Peroxidação lipídica na fase de tuberização em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

TABELA 14: Equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2), de análises bioquímicas ANR, Urease, Prolina, SOD, POD, CAT e PL na fase de tuberização em função de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.

	Equação	R^2 (%)
ANR	$-0,0022x + 0,1346$	52,14
Urease	$0,0217x^2 - 0,1497x + 1,4297$	86,23
Prolina	$0,0009x^3 - 0,0211x^2 + 0,0799x + 1,2682$	95,10
SOD	$0,0022x^3 - 0,0623x^2 + 0,5292x + 3,3511$	60,04
POD	$7E-05x^3 - 0,0015x^2 + 0,0085x + 0,1833$	82,84
CAT	$-0,039x^3 + 1,0431x^2 - 6,3008x + 18,856$	85,39
PL	$-0,0093x^3 + 0,2496x^2 - 1,6652x + 17,84$	73,52

4.3 Avaliações da fase III - Enchimento de tubérculos

4.3.1 Valor SPAD

Em todas as avaliações, independente do intervalo de dias após a aplicação dos tratamentos com doses de Ti houve diferenças significativas no valor SPAD das plantas que receberam Ti em relação ao tratamento controle (Tabela 15). Os valores variaram em até 45,33% aos 10 dias após a terceira aplicação. Quando a planta de batata está em um estágio de desenvolvimento avançado, as folhas começam a reduzir gradativamente o teor de clorofila e a coloração verde acentuada. Desta forma, as aplicações de Ti favoreceram maiores teores de clorofila evitando senescência antecipada das plantas refletindo em maior capacidade das plantas tratadas com Ti para produção de tubérculos.

TABELA 15: Valor SPAD de plantas de batata na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de titânio. Uberlândia-MG, 2014.

Doses Ti g ha ⁻¹	Valor SPAD		
	Previa	5 DAA ³	10 DAA ³
0	41,15b*	37,63b	26,60b
10,2	42,53a	39,89a	37,95a
15,3	42,54a	40,46a	36,43a
20,4	42,40a	40,63a	38,07a
22,8	42,57a	40,71a	38,66a
25,5	42,91a	41,21a	37,99a
CV (%)	0,38	1,41	2,99
Médias	42,39	40,19	36,01

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si nas colunas pelo teste de SCOTT-KNOTT (p<0,05); DAA3: dias após a terceira aplicação, média de quatro repetições; CV (%): coeficiente de variação.

4.3.2 Absorção de nutrientes

Os teores de nutrientes encontrados na fase de enchimento de tubérculos em função das doses de Ti encontram-se na Tabela 16.

TABELA 16: Teores médios de nitrogênio (g kg⁻¹), cobre, ferro, manganês e zinco (mg kg⁻¹) nas folhas da batata na fase enchimento de tubérculos em função de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.

Doses Ti g ha ⁻¹	N	Cu	Fe	Mn	Zn
	(g kg ⁻¹)		(mg kg ⁻¹)		
0	28,59	31,50	15824,8	44,60	18,04
10,2	22,60	45,06	5048,79	45,45	19,05
15,3	21,63	27,73	12656,53	63,88	17,94
20,4	22,07	23,50	21624,30	96,41	22,53
22,8	21,72	39,37	17735,20	68,96	20,00
25,5	20,95	22,24	21714,80	35,70	25,10
CV (%)	17,05	32,90	35,33	36,95	15,22
	*	ns	*	*	*

CV: coeficiente de variação; ns: não significativo e * significativo a 5% de probabilidade.

O teor de N apresentou diferenças significativas quanto às doses de Ti nesta fase com ajuste a um modelo linear e coeficiente de determinação de 96,04% (Figura 19). A dose de 20,90 g de Ti ha⁻¹ foi onde o menor teor de N foi verificado chegando a 21,25 g kg⁻¹. Os teores foram reduzidos quando comparados com as avaliações nas fases de crescimento e tuberização. Este comportamento sugere menor metabolismo do N e que este elemento está sendo translocado para o preenchimento dos tubérculos. Haghighi et al (2012) em trabalho com a cultura do tomate, verificou que 1 mg⁻¹ de Ti possibilitou

reduzir o fornecimento de N em até 50 % sem afetar o peso seco e fresco da parte aérea e raiz.

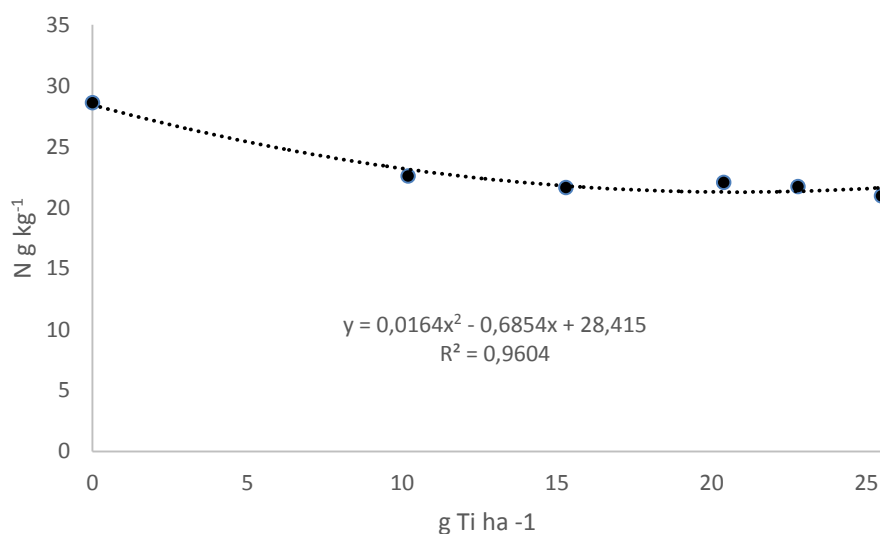


FIGURA 19: Teor de N nas folhas na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

Os teores de Fe e Mn ajustaram-se melhor ao modelo cúbico (Figuras 20 e 21). A fase de enchimento de tubérculos é o período de maior acúmulo de Fe na batata Ágata e chega a representar até 81% do total de Fe acumulado (Fernandes, 2011).

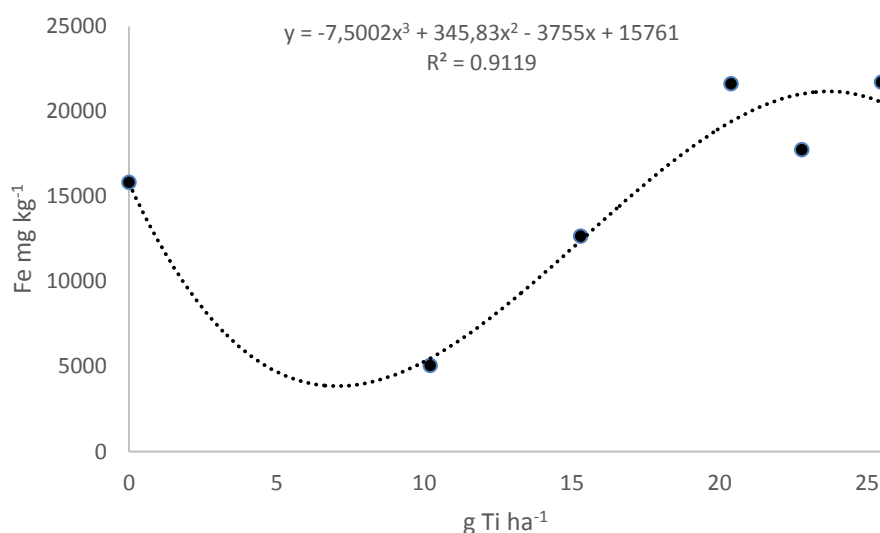


FIGURA 20: Teor de Fe nas folhas na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

Em relação ao Mn, a partir da dose de 5,03 g de Ti ha⁻¹ nota-se influência positiva das doses aplicadas nos teores de Mn nas folhas (Figura 21). A relação Mn/Fe é usualmente associada com Mn induzindo deficiência de Fe. Lee (1972) publicou que o

excesso de Mn produziu deficiência de Fe em batata crescendo em solução nutritiva e produziu uma relação Mn/Fe de 18 ou mais na parte aérea das plantas. A influência das doses de Ti na absorção de Fe e Mn mostrou comportamento semelhante para ambos, descartando a inibição competitiva entre os dois nutrientes.

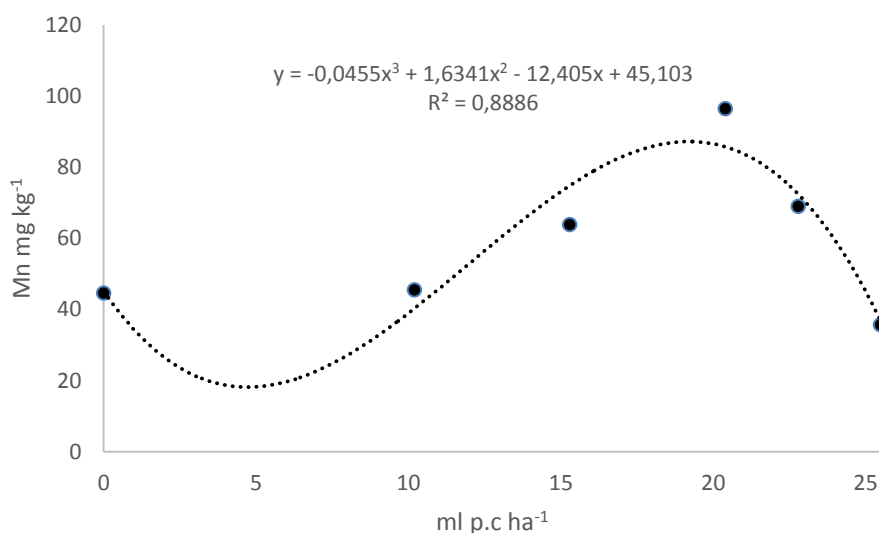


FIGURA 21: Teor de Mn nas folhas na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

O teor de Zn mostrou ajuste ao modelo quadrático em relação às doses de Ti conforme Figura 22. O teor mínimo foi atingido na dose de 4,60 g de Ti ha⁻¹, a partir desta dose houve aumento no teor de Zn demonstrando assim que o Ti favoreceu a absorção de Zn que também refletiu no maior teor de clorofila e valores SPAD. Fernandes et al (2011) observaram que na fase de enchimento de tubérculos da batateira ágata foi onde houve maior acúmulo deste nutriente, correspondendo a 66% do total de Zn utilizado durante o ciclo da cultura. Sob deficiência de Zn, a geração de O₂⁻ é aumentada e há um aumento característico da permeabilidade da membrana plasmática à medida que os radicais livres de O₂ tóxicos destroem as ligações duplas dos ácidos graxos poliinsaturados e dos fosfolípídeos das membranas, levando a uma perda de açúcares, aminoácidos e clorofila (MARSCHNER e CAKMAK, 1989; CAKMAK, 2000).

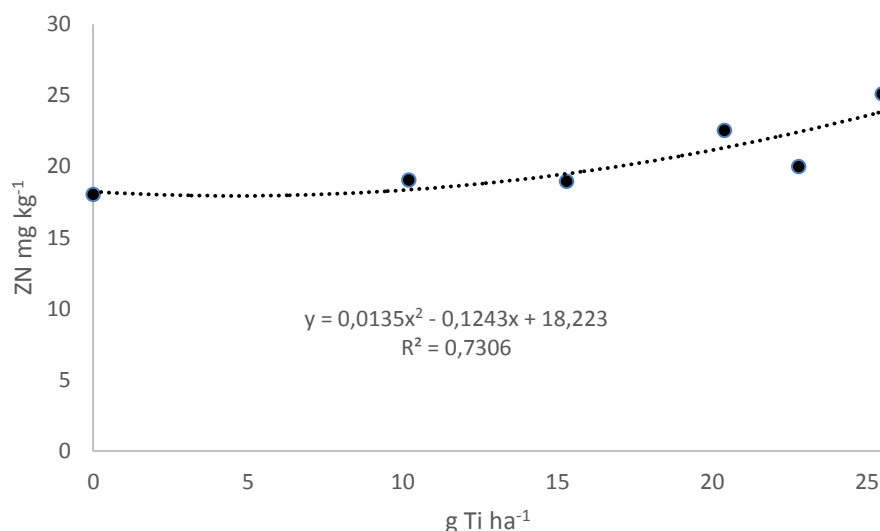


FIGURA 22: Teor de Zn nas folhas na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

TABELA 17: Equações de regressão e os coeficientes de determinação (R^2) dos teores de nutrientes nitrogênio (g kg^{-1}), ferro, manganês e zinco (mg kg^{-1}) na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

Nutriente	Equação	R^2 (%)
N	$0,0164x^2 - 0,6854x + 28,415$	96,04
Fe	$-7,5002x^3 + 345,83x^2 - 3755x + 15761$	91,19
Mn	$-0,0455x^3 + 1,6341x^2 - 12,405x + 45,103$	88,86
Zn	$0,0135x^2 - 0,1243x + 18,223$	73,06

4.3.3 Análises bioquímicas

Apesar da atividade da enzima POD não ter sido influenciada pelas das doses de Ti, verificou-se nesta fase os maiores valores da atividade de POD conforme Tabela 18.

TABELA 18: Teores médios de Prolina, Peroxidação lipídica e da atividade de enzimas ANR, Urease, SOD, POD e CAT na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.

Dose de Ti g ha ⁻¹	ANR (µg N-NO ₂ MF h ⁻¹)	Urease (µmol NH ₄ g ⁻¹ h ⁻¹)	Prolina (µmol de prolina g ⁻¹ MF)	SOD (U µg proteína ⁻¹)	POD (µmol min ⁻¹ µg proteína ⁻¹)	CAT (nmol TBARS g MF ⁻¹)	PL
0	0,09	3,96	0,37	0,56	0,34	15,78	21,41
10,2	0,15	3,96	0,24	1,75	0,39	34,19	21,13
15,3	0,11	2,51	0,30	1,74	0,40	24,04	21,13
20,4	0,11	2,04	0,29	2,64	0,35	35,22	18,99
22,8	0,10	2,88	0,28	2,07	0,42	28,26	18,26
25,5	0,14	3,99	0,23	2,25	0,35	56,46	21,81
CV (%)	18,40	10,95	11,29	16,35	20,63	12,06	10,29
	*	*	*	*	ns	*	ns

CV: coeficiente de variação; ns: não significativo e * significativo a 5% de probabilidade.

Em relação à ANR, urease, prolina, SOD e CAT houveram diferenças significativas e o melhor modelo ajustado foi o cúbico.

Observou-se maior ANR nos tratamentos que receberam aplicações de Ti quando comparados ao tratamento controle (Figura 23), mesmo com os teores de N decrescendo em função das doses de Ti. Kappor e Li (1981) verificaram que a ANR decresce naturalmente em plantas de batata a partir dos 50 DAE. Maiores valores de ANR indicam metabolismo de N ativo mesmo no final do ciclo com maior aproveitamento do N e potencial para melhor enchimento de tubérculos.

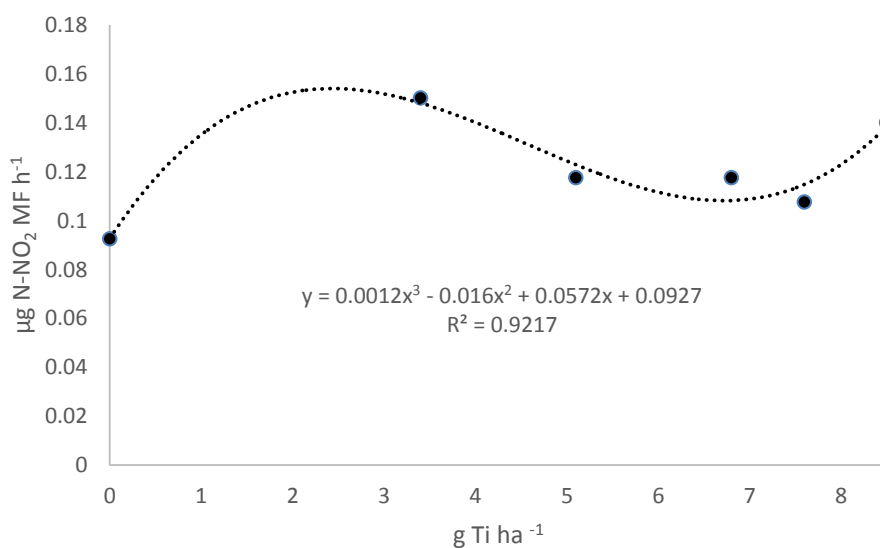


FIGURA 23: Atividade da enzima nitrato redutase na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

A urease apresentou coeficiente de variação de 98,25% ajustado ao modelo cúbico (Figura 24). Novamente verificaram-se valores em geral abaixo do controle sem aplicação de Ti. Levando a sugerir que o Ti pode inibir a absorção de Ni que é constituinte desta enzima. Não há informações específicas disponíveis na literatura a respeito da absorção de Ni ou sobre a relação deste com outros elementos como Ti. Entretanto, acredita-se que este nutriente requer alta regulação da mobilização e da retranslocação de Ni das folhas mais velhas para estruturas reprodutivas (ROMHELD, 2007).

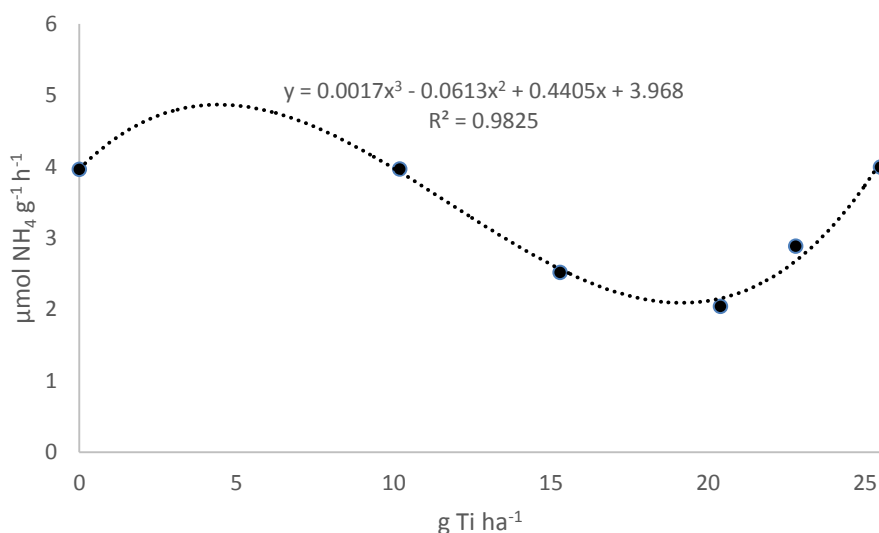


FIGURA 24: Atividade da enzima urease na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

Considerando os teores de prolina, nota-se que os valores observados nos tratamentos que receberam doses de Ti, em geral, foram inferiores ao controle (Figura 25). A rota metabólica responsável pela síntese de prolina mais expressiva em plantas tem início no aminoácido glutamato, o qual pode ser produzido por hidrólise de proteínas, por reações de transaminação ou pelas reações catalisadas pelo ciclo GS/GOGAT (VALPUESTA et al. 1992). Como a prolina acumulada pode ter origem no glutamato proveniente do N assimilado, a redução do teor de N em função das aplicações de Ti pode ter refletido na redução do teor de prolina.

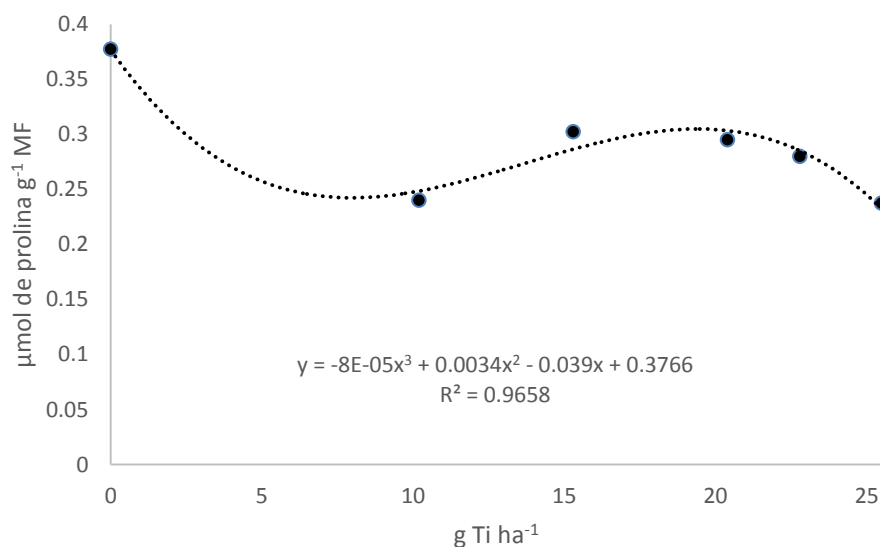


FIGURA 25: Teor de prolina na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

O aumento da dose de Ti favoreceu a atividade da enzima SOD até a dose de 25,48 g Ti ha⁻¹ (Figura 26). Esta enzima tem papel fundamental na tolerância de plantas ao estresse oxidativo, pois a mesma atua transformando os radicais ^{*}O₂⁻ em H₂O₂. Plantas com elevada atividade de SOD tem maior tolerância ao estresse oxidativo.

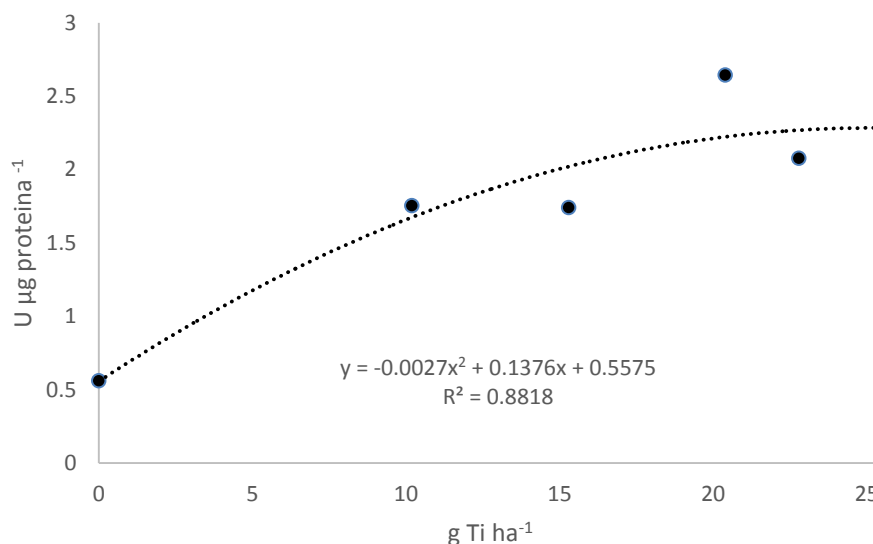


FIGURA 26: Atividade da enzima SOD na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

A dose para mínima atividade da CAT foi 19,23 g Ti ha⁻¹, valor a partir do qual a atividade da CAT volta a aumentar (Figura 27). Tais alterações na atividade da

catalase podem ocorrer como resposta condições ambientais extremas com variação no padrão de sua atividade (KALIR & POLJAKOFF-MAYBER, 1981; BROETTO, 2002).

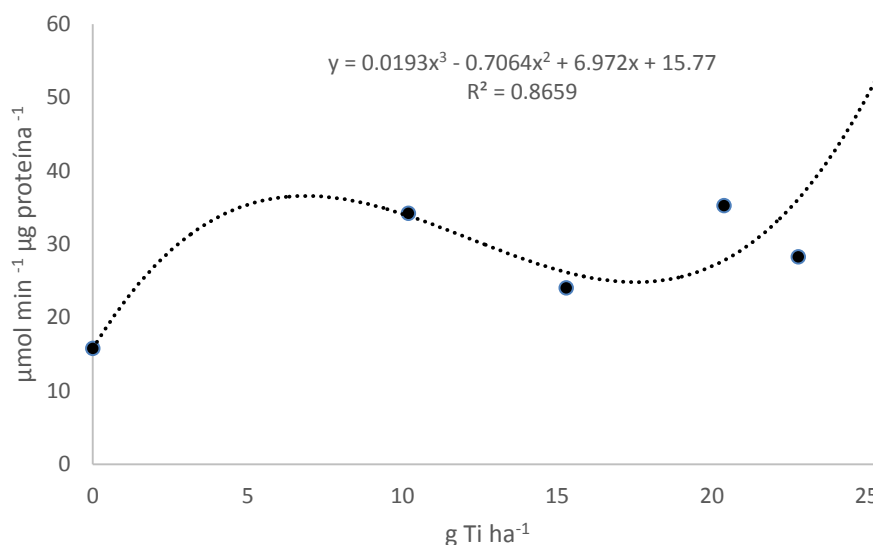


FIGURA 27: Atividade da enzima CAT em função de doses de Ti na fase de enchimento de tubérculos. Uberlândia, MG, 2014.

A PL não apresentou diferença significativa em função das doses de Ti aplicadas nesta fase, o que leva a concluir o Ti não provocou toxidez para a cultura da batata até a dose de 25,5 g de Ti ha⁻¹, máxima dose aqui testada. O aumento dos níveis de radicais oxidantes, quando da presença de níveis tóxicos de elementos metálicos está associado à peroxidação de lipídeos da membrana (DEVI & PRASAD, 2004; ROMERO PUERTAS et al., 2006). As consequências desse dano oxidativo às membranas são: a alteração na permeabilidade da membrana celular (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2000), na fluidez e na conformação estrutural de enzimas ligadas à membrana, bem como às suas atividades.

TABELA 19: Equações de regressão e coeficientes de determinação (R²) de análises bioquímicas ANR, urease, prolina, SOD e CAT na fase de enchimento de tubérculos em função de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.

	Equação	R ² (%)
ANR	$0,0012x^3 - 0,016x^2 + 0,0572x + 0,0927$	92,17
Urease	$0,0017x^3 - 0,0613x^2 + 0,4405x + 3,968$	98,25
Prolina	$-8E-05x^3 + 0,0034x^2 - 0,039x + 0,3766$	96,58
SOD	$-0,0027x^2 + 0,1376x + 0,5575$	88,18
CAT	$0,5209x^3 - 6,3577x^2 + 20,916x + 15,77$	86,59

4.4 Avaliações ao final do ciclo

4.4.1 Teor de nutrientes nos tubérculos

Os teores de N, Cu, Fe e Mn nos tubérculos não demonstraram diferenças significativas em função das doses de Ti (Tabela 20).

TABELA 20: Teores médios de nitrogênio (g kg^{-1}), cobre, ferro, manganês e zinco (mg kg^{-1}) nos tubérculos em função de doses de titânio. Uberlândia, MG, 2014.

Doses Ti g ha^{-1}	N (g kg^{-1})	Cu	Fe (mg kg^{-1})	Mn	Zn
0	3,60	1,92	56,09	2,66	8,42
3,4	5,20	1,99	56,75	5,35	7,43
5,1	3,52	2,73	61,67	1,46	7,25
6,8	2,82	2,22	33,74	0,00	6,99
7,6	4,92	2,24	63,17	4,64	7,21
8,5	6,22	2,09	71,79	0,35	7,09
CV (%)	97,51	16,16	40,72	178,53	11,26
	ns	ns	ns	ns	*

CV: coeficiente de variação; ns: não significativo e * significativo a 5% de probabilidade

Observou-se relação linear negativa quanto aos teores de Zn nos tubérculos (Figura 28). Com valores entre 6,99 a 8,42 mg kg^{-1} , já Fernandes et al (2011) obteve valor de 22 mg kg^{-1} em batata c.v. Ágata. Já Tlustos et. al, (2005), verificaram aumento nos teores de Zn na massa seca de tubérculos de batata com a aplicação de 30 g de Ti ha^{-1} , entretanto estes autores ressaltam que em condições de deficiência de N a aplicação de Ti não apresentou o mesmo efeito sobre os teores de Zn nos tubérculos.

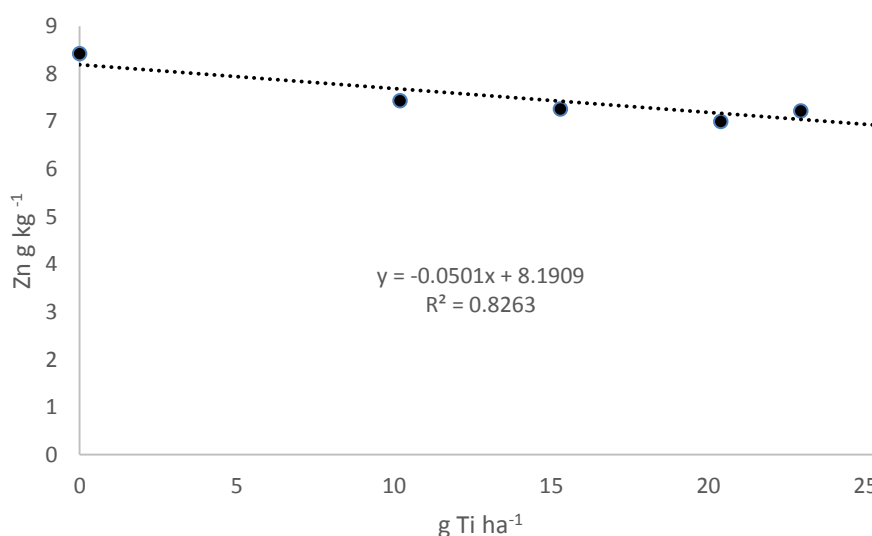


FIGURA 28: Teor de Zn nos tubérculos de batata em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

A equação para o teor de Zn nos tubérculos (Tabela 21) indica a cada 1 g de Ti aplicado reduz em 0,0501 g o teor de Zn nos tubérculos. Na máxima dose de Ti aplicada a redução do teor de Zn no tubérculo é de 1,27 g kg⁻¹.

TABELA 21: Equação de regressão e coeficiente de determinação (R²) de Zn nos tubérculos (mg kg⁻¹). Uberlândia, MG, 2014.

Nutriente	Equação	R ² (%)
Zn	-0,0501x + 8,1909	82,63

4.4.2 Características produtivas

A classificação de tubérculos não foi influenciada pelas doses de Ti (Tabela 22). Já Dobromilska (2007), observou que com três aplicações foliares com dose de 0,76 g Ti ha⁻¹ no intervalo de 10 dias entre cada uma a partir da fase de enraizamento apresentou uma melhora significativa na classificação de frutos de tomate e redução no descarte de frutos.

TABELA 22: Frequência de classificação comercial dos tubérculos (%) de batata em função de diferentes doses de titânio foliar. Uberlândia, MG, 2014.

Dose de Ti g ha ⁻¹	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V
	(%)				
0	4,72a	67,92a	16,04a	6,60a	4,72a
10,2	1,23a	58,64a	22,22a	6,79a	11,11a
15,3	0,00a	63,04a	25,36a	10,14a	1,45a
20,4	0,00a	62,82a	24,36a	8,33a	4,49a
22,9	0,00a	67,97a	24,84a	3,27a	3,92a
25,5	0,00a	47,32a	25,89a	16,96a	9,82a
CV (%)	25,23	11,78	10,24	16,16	24,22
Médias	0,85	60,55	23,22	8,65	6,72

Classe I: diâmetro > 70 mm; Classe II: diâmetro de 42 a 70 mm; Classe III: diâmetro de 33 a 42 mm; Classe IV: diâmetro de 28 a 33 mm; Classe V: diâmetro até 28 mm; † médias seguidas de mesma letra não diferem entre si nas colunas pelo teste de SCOTT-KNOTT (p≤0,05); m: média de quatro repetições; CV (%): coeficiente de variação.

As variáveis massa média de tubérculos (MMT), diâmetro médio de tubérculos (DMT) e produtividade total de tubérculos (PTT) foram influenciadas pelas doses Ti (Tabela 23).

TABELA 23: Massa média de tubérculos (g), diâmetro médio de tubérculos (cm) e produtividade total de tubérculos ($t\ ha^{-1}$), por classificação quanto ao diâmetro, em função de tratamentos com titânio foliar. Uberlândia, MG, 2014.

Dose de Ti $g\ ha^{-1}$	MMT (g)	DMT (cm)	PPT ($t\ ha^{-1}$)
0	79,36	41,05	26,81
10,2	80,09	43,50	34,30
15,3	79,09	41,62	32,13
20,4	76,98	41,14	24,58
22,9	73,15	42,61	29,78
25,5	89,00	42,49	29,72
CV (%)	8,86	2,71	11,88

A dose para máximo MMT e PMT foi próxima a $7,0\ g\ de\ Ti\ ha^{-1}$ conforme verificado nas Figuras 29 e 30. Os incrementos em MMT e DMT colaboraram para obtenção de maiores produtividades. Com frequência a produção tem sido altamente correlacionada com características como peso médio e número de tubérculos (MARIS, 1988).

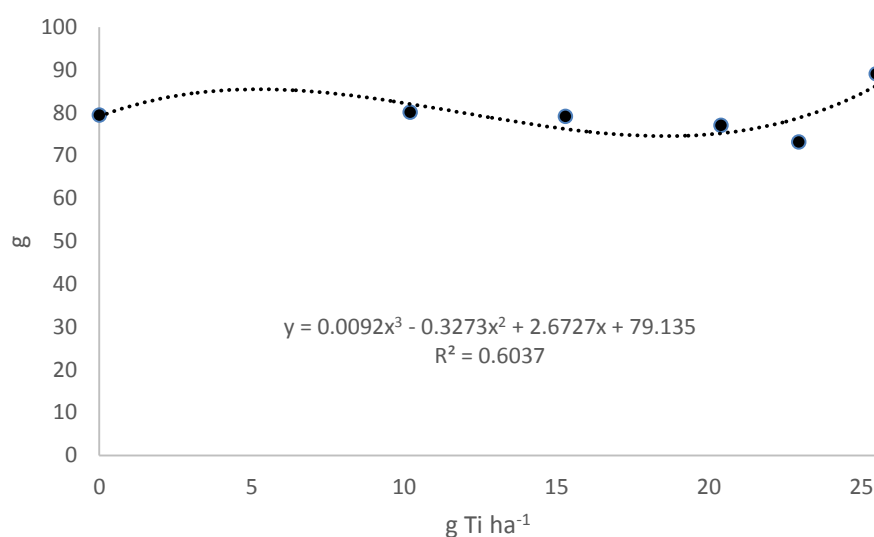


FIGURA 29: Massa média de tubérculos de batata em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

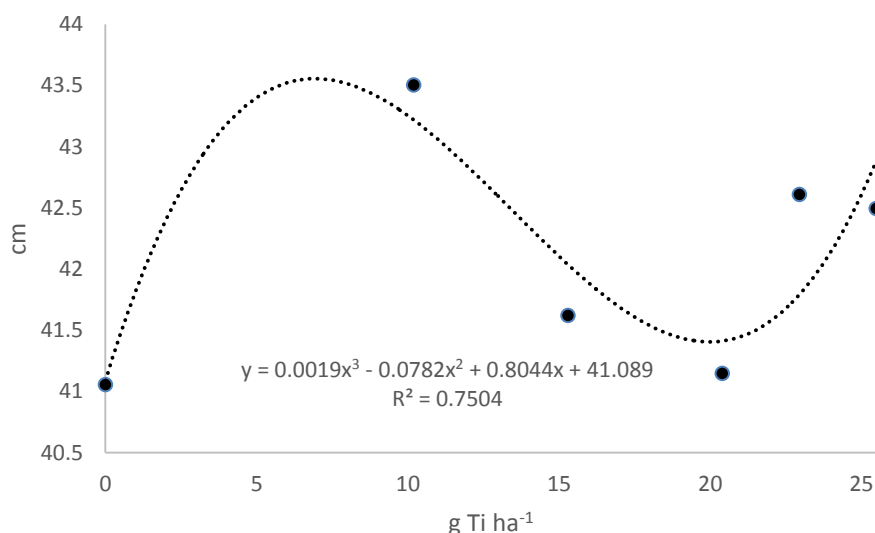


FIGURA 30: Diâmetro médio de tubérculos de batata em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

A produtividade ajustou-se ao modelo cúbico com coeficiente de determinação de 75,68% onde a dose para máxima produção de tubérculos foi de 5,74 g de Ti ha⁻¹ (Figura 31). Com a aplicação desta dose, a produtividade foi de 35,68 t ha⁻¹. Em comparação ao tratamento 1 (sem aplicação de Ti) esta produtividade representou incremento de 33,09%.

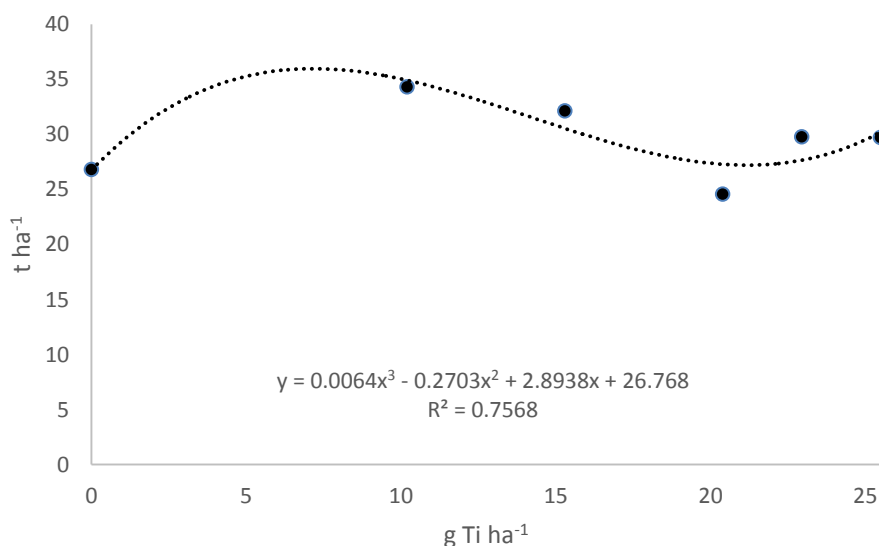


FIGURA 31: Produtividade total de tubérculos de batata em função de doses de Ti. Uberlândia, MG, 2014.

Kołosowski et al. (2001), observou aumento na produção de tomate em 74%, Carvajal et al.(1996) obteve incrementos rendimento de pimenta de 32%, e Janas et al.

(2002) tiveram rendimento em berinjela 11% superior em relação que as não foram tratadas com Ti. Estes autores ressaltaram que o efeito sobre as plantas depende essencialmente das concentrações de Ti aplicadas que variaram de acordo com as culturas.

TABELA 24: Equações de regressão e coeficientes de determinação (R^2), para peso medio de tubérculos (g), diâmetro medio de tubérculos (cm) e produtividade total de tubérculos ($t\ ha^{-1}$) de batata. Uberlândia, MG, 2014.

	Equação	R^2 (%)
PMT	$0,0092x^3 - 0,3273x^2 + 2,6727x + 79,135$	60,37
DMT	$0,0019x^3 - 0,0782x^2 + 0,8044x + 41,089$	75,04
PTT	$0,0064x^3 - 0,2703x^2 + 2,8938x + 26,768$	75,68

5 CONCLUSÕES

Na fase de crescimento a aplicação foliar de Ti reduz o teor de Mn nas folhas e da atividade da urease porém há aumento da atividade da POD e ANR.

Na fase de tuberização a absorção de Fe e atividade de enzimas SOD e POD tem resposta ao aumento da dose de Ti.

Na fase de enchimento de tubérculos a aplicação foliar de Ti incrementa os teores de clorofila (valor Spad).

A aplicação de Ti foliar nas fases de crescimento, tuberização e enchimento de tubérculos resulta em menor teor de Zn nos tubérculos.

A massa média de tubérculos, o diâmetro médio de tubérculos e a produtividade total de tubérculos são influenciados pela aplicação foliar de Ti.

A dose de Ti aplicada via foliar para maior produtividade de tubérculos é de 5,74 g de Ti ha⁻¹.

6 REFERÊNCIAS

- ABBA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA BATATA. **Variedades**. 2006. Disponível em: <<http://www.abbabatatabrasileira.com.br/images/variedades/agata.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2015.
- AGARWALA, S. C.; BISHT, S. S.; SHARMA, C. P. Relative effectiveness of certain heavy metals in producing toxicity and symptoms of iron deficiency in barley. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 55, n. 10, p. 1299-1307, 1977.
- ALFENAS, A.C. **Eletroforese de isoenzimas e proteínas afins**: fundamentos e aplicações em plantas e microrganismos. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1998. 574p.
- ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, Rockville, v. 14, n. 2, p. 371-375, 1939.
- BARBER, D. A.; HARRIS, S.R. Oxygen free radicals and antioxidants: a review. **American pharmacy**, [S.l.], n. 9, p. 26-35, 1994
- BATES, L.; WALDREN, R.P.; TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 39, p. 205-207, 1973.
- BATTEN, G.D.; DOWLING, V.; SHORT, C.; BLAKENEY, A.B. Mineral content of shoots of Australian rice crops. **Communications Soil Science Plant Anal**, New York, v. 23, p.1195-1208, 1992.
- BEDROSIAN, A.J.; HANNA, W.J. Trace element relationships in New Jersey soils. **Soil Science**, New Jersey, v. 101, n.1, p. 50-56, 1966.
- BEN-ZIONI, Aliza; VAADIA, Y.; HERMAN LIPS, S. Correlations between nitrate reduction, protein synthesis and malate accumulation. **Physiologia plantarum**, Umeå, v. 23, n. 6, p. 1039-1047, 1970.
- BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Response to abiotic stresses. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (Eds.). **Biochemistry e molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. p. 1158-1203.
- BROETTO, F.; LUTTGE, U.; RATAJCZAK, R.; Influence of light intensity and salt treatment on mode of photosynthesis and enzymes of the antioxidative response system of mesembryanthemum crystallinum, **Functional Plant Biology**, Victoria, v.29, p. 13-23, 2002.
- BEUKEMA, H. P.; ZAAG, D. E. van der. Introduction to potato production. Wageningen:PUDOC. 1990. 207p.

CABALCETA, G.; SALDIAS, M. & ALVARADO, A. Absorción de nutrientes en el cultivar de papa MNF-80. **Agronomia Costarricense**, San José, n. 29, p.107-123, 2005.

CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADEV, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 6, p. 71-80, 1975.

CARRY, E.E. Correction of elemental analysis of soil-grown wheat roots contaminated with soil. **Journal of Plant Nutrition**, Georgia, v. 15, p. 857-869, 1992.

CARRY, E.E.; GRUÑES, D.L.; BOHMAN, V.R.; SANCHIRICO, C.A. Titanium determination for correction of plant sample contamination by soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, p. 933-936, 1986.

CARVAJAL, M. et al. Aporte foliar de titanio a plantas de pimiento pimentonero. Influencia sobre el balance de nutrición en pericarpio de fruto. **Suelo y Planta**, Madrid, v. 2, n. 4, p. 551-562, 1992.

CARVAJAL, M.; ALCARAZ, C. F. Why titanium is a beneficial element for plants. **Journal of Plant Nutrition**, Georgia, v. 21, n. 4, p.655-664, 1998.

CARVAJAL, M.; ALCARAZ, C.F. Effect of Ti (IV) on Fe activity in *Capsicum annuum* L. plants. **Phytochemistry**, United Kingdom, v. 39, n. 5, p. 977-980, 1995.

CARVAJAL, M.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, F.; ALCARAZ, C.F. Effect of Ti (IV) application on some enzymatic activities in several developing stages of *Capsicum annuum* L. plants. **Journal Plant Nutrition**, Georgia, v. 17, p. 243-253, 1994a.

CARVAJAL, M.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, F.; ALCARAZ, C.F. Effect of Ti (IV) on some physiological activity indicators of *Capsicum annuum* L. plants. **Journal of Horticultural Science**, United Kingdom, v. 69, p. 427-32, 1994b.

CARVAJAL, M.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, F.; ALCARAZ, C.F. Effect of Ti (IV) and humic acids combined treatments on the yield and biochemical parameters of paprika. **Acta Alimentaria**, Budapest, v. 24, p. 321-329, 1995.

CARVAJAL, M.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, F.; PASTOR, J.J.; ALCARAZ, F. Leaf spray with Ti (IV) ascorbate improves the iron uptake and iron activity in *Capsicum annuum* L. plants, p. 1-5. In: J. Abadía (ed.), **Iron Nutrition in Soils and Plants**. Kluwer cademic Publishers, Dordrecht, 1995.

CARVALHO, M.H.C. Drought stress and reactive oxygen species. **Plant Signaling & Behavior**. Austin, v. 3, n. 3, p. 156-165, 2008.

CLARKSON, D.T.; HANSON, J.B. The mineral nutrition in higher plants. Annual. Review. **Annual Review Plant Physiology**, United Kingdom , v. 31, p. 239-298, 1980.

DAOOD, H.G., P. BIACS, M. FEHER, F. HADJU, AND I. PAIS. Effect of titanium on the activity of lipoxygenase. **Journal of Plant Nutrition**, Georgia, v.11, p. 505-516, 1988.

DAVIES, D.D. The central role of phosphoenolpyruvate in plant metabolism. **Annual Review Plant Physiology**, United Kingdom, v. 30, p. 131-158, 1979.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, Gilmar Ribeiro. Elementos requeridos à nutrição de plantas. **Fertilidade do Solo**, Viçosa, p. 91-132, 2007.

DELAUNEY, A., VERMA, D. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. **Plant Journal**, Michigan, v. 4, p.215-223, 1993.

DELU FILHO, N.; OLIVEIRA, LEM de; VALE, FR do. Efeito diferentes concentrações de nitrato sobre o crescimento e atividade da redutase do nitrato em plantas jovens de seringueira *hevea brasiliensis* muell Arg. **Revista árvore-Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 447-454, 1997.

DEVI, S.R.; PRASAD, M.N.V. Membrane lipid alterations in heavy metal exposed plants. In: PRASAD, M.N.V. (Ed.). **Heavy metal stress in plants: From biomolecules to ecosystems**. Springer, India, 2nd ed, p.127-145, 2004.

DIXON, N.; Jack bean urease (EC 3.5. 1.5). Metalloenzyme. Simple biological role for nickel. **Journal of the American Chemical Society**, Utah, v. 97, n. 14, p. 4131-4133, 1975.

DOBROMILSKA, R. Wpływ stosowania tytanitu na wzrost i plon pomidora drobnoowocowego. **Roczniki akademii rolniczej w Poznaniu CCCLXXXIII**, Ogródnictwo, v. 41, p. 451-454, 2007.

DONATO, VMTS. Atividade enzimática em variedades de cana-de-açúcar cultivadas in vitro sob diferentes níveis de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1087-1093, 2004.

DUMON, J.C. AND W.H.O. ERNST. Titanium in plants. **Journal Plant Physiology**, Leipzig, n 133 p. 203-209, 1988.

EL-GHONEMY, A.A., A.M., EL-GAZZAR, A. WALLACE, AND ROMNEY, E.M. Mineral element composition of the natural vegetation along a transect at Mareotis, Egypt., **Soil Science**, New Jersey, v.124, p. 16-26, 1977.

ELSTNER, E. F.; OSSWALD, W. Mechanisms of oxygen activation during plant stress. **Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. Section B. Biological Sciences**, Edinburgh, v. 102, p. 131-154, 1994.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. rev. e ampliada. Brasília, DF, **Embrapa informação tecnológica**, 627 p. 2009.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2. ed. Sunderland: Sinauer, 2005. 412 p.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, California, v. 50, p. 641-644, 1999.

ERNST, W.H.O.; NELISSEN, H.J.M.; BOOKUM, W.M.T. Combination toxicology of metal-enriched soils: physiological responses of Zn- and Cd-resistant ecotype of *Silene vulgaris* on polymetallic soils. **Environmental and Experimental Botany**, Philadelphia, v. 43, n.1, p.55-71, 2000.

EWING, E.E. The role of hormones in potato (*Solanum tuberosum* L.) tuberization. In: DAVIES, P.J. (Ed.) **Plant hormones: physiology, biochemistry and molecular biology**. London: Kluwer Academic, p. 698-724, 1995.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Escassez e degradação dos solos e da água ameaçam segurança alimentar**. 2009, Disponível em: <<http://www.fao.org/edasaasa.asp>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

FEHER, M.; PAIS, I.; PAPP, K. Effect of titanium on the uptake of other nutritive elements. In: **2. Symposium international sur le role des oligoelements en agriculture**. Toulouse, 12-13 Jun 1986. CEDIPA, 1986.

FERNANDES, A.M. **Crescimento, produtividade, acúmulo e exportação de nutrientes em cultivares de batata (*Solanum tuberosum* L.)**. 2010. 158 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas UNESP, Botucatu. 2010.

FERNANDES, A.M. et al. Qualidade físico-química e de fritura de tubérculos de cultivares de batata na safra de inverno. **Horticultura brasileira**, [Brasília], v. 28, n. 3, 2010.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Campinas, v. 6, p. 36-41, 2008.

FILGUEIRA, F.A.R. **Manual de Olericultura: Cultura e Comercialização de Hortaliças**. 2. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1982.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2 eds. Viçosa: UFV, 2008, 421 p.

FOLLMER C. Insights into the role and structure of plant ureases. **Phytochemistry**, London, v.69, p. 18-28, 2008.

FONTES, P.C.R. Nutrição mineral e adubação. In: REIFSCHNEIDER, F.J.B. (Coord.). **Produção de batata**. Brasília: Linha Gráfica Editora, 1987, p. 40-56.

FONTES, P. C. Cultura da Batata. In: FONTES, P.C.R. (Ed.). **Olericultura: teoria e prática**. Viçosa-MG: UFV, 2005. p. 323-343.

FONTES PCR; FINGER FL. Dormência dos tubérculos, crescimento da parte aérea e tuberização da batateira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n 20, p. 24-29, 1999.

FOOD, F. A. O. **Agriculture Organization of the United Nations**. FAOSTAT. 2011.

FORTES, G.R.L.; PEREIRA, J.E.S. Classificação e descrição botânica. In: PEREIRA, A.S.; DANIELS, J. (Ed.). **O cultivo da batata na Região Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 69-79.

FRIES, L.M., PACOVSKY, R.S., SAFIR, G.R. Expression of isozymes altered by both *Glomus intraradices* colonization and forminetion application in corn (*Zea mays* L.) roots. **Soil Biology and Biochemistry**, United Kingdom, v.28, p. 981-988, 1986.

FRUGOLI, J.A., ZHONG, H.H, NUCCIO, M.L, McCOURT, P., McPEEK, M.A, THOMAS, T.L., McCLUNG, C.R. Catalase is encoded by a multigene faily in *Arabidopsis thaliana* (L) Heynh. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 112, p. 327-336, 1986.

FRUTOS, M.J., J.J. PASTOR, F. MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, AND C.F. ALCARAZ. Improvement of the nitrogen uptake induced by titanium (IV) leaf supply in nitrogen-stressed pepper seedlings. **Journal of Plant Nutrition**. Georgia, v.19, p. 771-783, 1996.

FRY, S.C. Cross-linking of matrix polymers in growing cell wall of angiosperms. Annual **Review of Plant Physiology**, United Kingdom, v.37, p.165-186, 1986.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxido dismutases. I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977.

GIMÉNEZ, J. L. et al. Titanium in plant nutrition. III. Effect of Ti (IV) on yield of *Capsicum annuum* L. In: **Proc. III. Symp. Nat. Nutr. Min.**[S.l.], p. 123-128, 1990.

GOLDBERG, R. LÊ, T. CATESSON, A.M. Localization and proprieties of cell wall enzyme activities related to the final stages of lignin biosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.36, p. 503-510, 1895.

GOOR, BJ van; WIERSMA, D. Chemical forms of manganese and zinc in phloem exudates. **Physiologia Plantarum**, Umeå v. 36, n. 2, p. 213-216, 1976.

GUHA, M.M.; MITCHELL, R.L. The trace and major element composition of the leaves of some deciduous trees. I. Sampling techniques. **Plant Soil**, Crawley, v. 23, p. 323-338, 1965.

GUHA, M.M.; MITCHELL, R.L. The trace and major element composition of the leaves of some deciduous trees. II. Seasonal changes. **Plant Soil**, Crawley, v. 24, p. 90-112, 1966.

GUNES, A.; INAL, A.; BAGCI, E. G.; COBAN, S. Silicon-mediated changes on some physiological and enzymatic parameters symptomatic of oxidative stress in barley grown in sodic-B toxic soil. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 164, p. 807-811, 2007.

- HAGHIGHI, M.; HEIDARIAN, S.; DA SILVA, J. A. T. The effect of titanium amendment in N-withholding nutrient solution on physiological and photosynthesis attributes and micronutrient uptake of tomato. **Biological trace element research**, California, v. 150, n. 1-3, p. 381-390, 2012.
- HARA, T.; SONODA, Y.; IWAI, I. Growth responses of cabbage plants to transition elements under water culture conditions. I. Titanium, vanadium, chromium, manganese, and iron. **Soil Science Plant Nutrition**, Hokaido, v. 22, p.307-315, 1976.
- HARE, P. D.; CRESS, W. A. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. **Plant Growth Regulation**, Netherlands, v. 21, p.79-102, 1997.
- HARE, R.C. Indolacetic acid oxidase. **The Botanical Review**, New York, v.30, p. 129-165, 1964.
- HEENAN, D. P.; CAMPBELL, L. C. Transport and distribution of manganese in two cultivars of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Crop and Pasture Science**, Clayton South, v. 31, n. 5, p. 943-949, 1980.
- HOAGLAND, R.E. Biochemical responses of plants to pathogenns. In HOAGLAND, R.E. (Ed.) **Microbes and microbial products as herbicides**. Washington: Americal Chemical Society, 1990, p. 87-113.
- HOGAN, M.E.; SWIFT, I.E.; DONE, J. Urease assay and ammonia release from leaf tissues. **Phytochemistry**, Washington, v. 22, p. 663-667, 1983.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatística da produção agrícola**. 2013. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201309.pdf>. Acesso em 17 dez, 2014.
- INMAN, O.L.; BARCLAY, G.; HUBBARD, M. Effect of titanium chloride on the formation of chlorophyll in *Zea mays*. **Plant Physiology**, [S.l.], v. 10, p. 821-822, 1935.
- JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B.; MILL, H.A. **Plant analysis handbook**. Georgia: Micro- Macro Publishing, 1991. 213 p.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in plants and soils. **Boca Raton**, Florida, p. 233-237, 1984.
- KALIR, A.; POLJAKOFF-MAYBER, A. Changes in activity of malate dehydrogenase, catalase, peroxidase and superoxide dismutase in leaves of *Halimione portulacoides* (L.) Aellen exposed to high sodium chloride concentrations. **Annals of Botany**, Leicester, v. 47, n. 1, p. 75-85, 1981.
- KAPOOR, Amin C.; LI, Paul H. Effects of age and variety on nitrate reductase and nitrogen fractions in potato plants. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 33, n. 5, p. 401-406, 1982.

KELEMEN, G.; KERESZTES, A.; BACSY, E.; FEHER, M.; FODOR, P.; PAIS, I. Distribution and intracellular-localization of titanium in plants after titanium treatment. **Food Struct**, Toronto, v.12, p. 67-72, 1993.

KIEKENS, L.; CAMERLYNCK, R. Influence of Titavit on growth of maize and cowpea grown in nutrient solution. **Journal Plant Nutrition**, New York, p. 499-499, 1988.

KISS, F.; DEAK, G.; FEHER, M.; BALOGH, A.; SZABOLSCI, L.; PAIS, I. The effect of titanium and gallium in photosyntetic rate of algae. **Journal Plant Nutrition**, New York v. 8, p. 825-832, 1985.

KOŁACZYNSKA-JANICKA M, Biostymulatory w nowoczesnej uprawie rolin, **Wie Jutra**, Warszawa, v.3, p. 25–26. 2004.

KONISHI, K.; TSUGE, T. Inorganic constituents of green-manure crops. **II Journal Agriculture Chemical Society**, [S.l.], v.12, p. 916-930, 1936.

KOZUKA, S.; SAITO, K.; OGUMA, K.; KURODA, R. Simultaneous determination of trace amounts of iron (III) and titanium (IV) by flow injection with spectrophotometric detection. **The Analytic**, Cambridge, v. 115, p.431-434, 1990.

KUŽEL, STANISLAV et al. Mechanism of physiological effects of titanium leaf sprays on plants grown on soil. **Biological trace element research**, New York, v. 91, n. 2, p. 179-189, 2003.

LECLERC Y; DONNELLY JD; COLEMAN WK; KING R.R. Microtuber dormancy in three potato cultivars. **American Potato Journal**, New Jersey, v.72, p. 215-223, 1995.

LEE, C. R. Interrelationships of aluminum and manganese on the potato plant. **Agronomy Journal**, Madison, v. 64, n. 4, p. 546-549, 1972.

LEE, H. J.; TITUS, J. S. Relationship between nitrate reductase activity and level of soluble carbohydrates under prolonged darkness in MM. 106 apple leaves. **Journal of Horticultural Science**, United Kingdom, v. 68, n. 4, p. 589-596, 1993.

LEIDI, E.O.; SILBERBUSH, M.; LIPS, S.H. Wheat growth as affected by nitrogen type, pH and salinity, II. Photosynthesis and transpiration. **Journal of Plant Nutrition**, Giessen, v. 14, p. 247-256, 1991.

LÊON, J.; LAWTON, M.A; RASKIN, I. Hydrogen peroxide stimulates salicylic acid biosynthesis in tobacco. **Plant Physiology**, Lancaster, v.108, n.4, p.1673-1678, 1995.

LIMA, M.G. S. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 335-340, 2004.

LOCATELLI, C.; FAGIOLY, F.; GARAI, T.; BIGHI, C. Trace level determination of titanium in real samples by alternating current voltammetry. **Annual. Chemical Society**, Urbana, v. 60, p. 2402-2408, 1988.

- LOPEZ-MORENO, J. L.; GIMÉNEZ, J.L.; MORENO, A.; FUENTES, J.L.; ALCARAZ, C.F. Plant biomass and fruit yield induction by Ti (IV) in P-stressed pepper crops. **Fertilizer Research**, Amsterdam, v. 43, p. 131-136, 1996.
- LORENZI, J.O. et al. Raízes e tubérculos. In: VAN RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas, v. 100, p. 221-23, 1996.
- LU, C.M.; ZHANG, C.Y.; WU, J.Q.; TAO, M.X. Research of the effect of nanometer on germination and growth enhancement of *Glycine max* and its mechanism. **Soybean Science**, [S.l.], v. 21, p.168-172, 2002.
- MADAN, S., NAINAWATEE, H.S.; JAIN, R.K.; CHOWDHURY, J.B. Proline and proline metabolizing enzymes in in-vitro selected NaCl-tolerant *Brassica juncea* L. under salt stress. **Annals of Botany**, Exter, v. 76, p.51-57, 1995.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; DE OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafos, 1989. 319 p.
- MALINOWSKA, E. The yield and content of Ti, Fe, Mn, Cu in celery leaves (*Apium graveolens* L. var. dulce Mill. Pers.) as a result of Tytanit application. **Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus**, Lublin, v. 11, n. 1, p. 69-80, 2012
- MARIS, B. Correlations within and between characters, between and within generations as a measure for early generation selection in potato breeding. **Euphytica**, Dordrecht, v. 37, p. 205-224, 1988.
- MARSCHNER, H, RÖMHELD, V. Function of micronutrients in plants. **Micronutrients in agriculture**, micronutrients, n. 2, p. 297-328, 1991.
- MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, F.; GIMÉNEZ, J.L.; MARTÍNEZ-CAÑADAS, M.A.; PASTOR, J.J.; ALCARAZ, C.F. Micronutrient composition in several portions of *Capsicum* plants and their relation with red fruit colour. **Acta Aliments**, Budapest, v. 19, p.177-185, 1990.
- MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, F.; CARVAJAL, M.; FRUTOS, M.J.; GIMÉNEZ, J.L.; ALCARAZ, D C.F. Titanium in the nutrition of *Capsicum annuum* L. plants. **Ciencia Agronómica**, [S.l.], v. 11, p. 73-78, 1991.
- MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, F.; NUÑEZ, M.; AMORÓS, A.; GIMÉNEZ, J.L.; ALCARAZ, C.F. Effect of titanium leaf spray treatments on ascorbic acid levels of *Capsicum annuum* L. fruits. **Journal Plant Nutrition**, Georgia, v.16, p. 975-981, 1993.
- MCCLENDON, J.H. Elemental abundance as a factor of the origen of mineral nutrients requirements. **Journal Molecular Evolution**, Nebraska, v. 8, p. 175-195, 1976.
- MCCULLOUGH, H. The determination of ammonium in whole blood by a direct colorimetric method. **Clinica Chemical Acta**, Amsterdam, v. 17, n. 2, p. 297-304, 1967.

MEHROTRA, S.C., S.K. MEHROTRA, S.S. BISHT, AND C.P. SHARMA. Resolution of iron chlorosis. **Geohydrology**, [S.l.], v. 6, p. 282-285, 1976.

MEIER, U. Growth stages of mono-and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. **German federal biological research centre for agriculture and forestry**, Berlin, 2001.

MEHTA, SK.; GAUR, J.P. Heavy-metal-induced proline accumulation and its role in ameliorating metal toxicity in *Chlorella vulgaris*. **New Phytologist**, Oxford, v. 143, n. 2, p. 253-259, 1999.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, London, v. 7 p. 405-410, 2002.

MUÑOZ, M.; ALONSO, J.; VALIENTE, M. Automated spectrophotometric determination of titanium (VI) in water and brines by flow injection based its reaction with hydrogen peroxide. **Analytic**, Cambridge, v. 115, p. 315-318, 1990.

NANJO, T.; KOBAYASHI, M.; YOSHIBA, Y.; SANADA, Y.; WADA, K.; TSUKAYA, H.; KAKUBARI, Y.; YAMAGUCHI, SHINOZAKI, K.; SHINOZAKI, K. Biological functions of proline in morphogenesis and osmotolerance revealed in antisense transgenic *Arabidopsis thaliana*. **The Plant Journal**, United Kingdom, v.18, p.185-193, 1999.

NAVARRO, E.; BAUN, A.; BEHRA, R.; HARTMANN, N. B.; FILSER, J.; MIAO, A.; QUIGG, A.; SANTSCHL, P.H.; SIGG, L. Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi. **Ecotoxicology**, London, v. 17, p. 372-386, 2008.

OLIVEIRA, A.R. Absorção de nutrientes e resposta à adubação em linhagens de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.27, p.498-504, 2009.

PAIS, I. The biological importance of titanium. **Journal Plant Nutrition**, Georgia, v. 6, p. 3-131, 1983.

PAIS, I. Criteria of essentiality, beneficiality and toxicity. What is too little and too much? In: I. Pais (ed.), *Cycling of the Nutritive Element in Geo and Biosphere*. **University of Horticultural and Food Science**, Budapest, p. 59-77. 1991.

PAIS, I.; FEHÉR, M.; FARKAS, E.; SZABÓ, Z.; CORNIDES, I. Titanium as a new trace element. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, Georgia, v. 8, n. 5, p. 407-410, 1977.

PASSARDI, F.; COSSIO, C.; PENEL, C.; DUNAND, C. Peroxidases have more functions than a Swiss army knife. **Plant Cell Reports**, Berlin, v. 24, p. 255-265, 2005.

PATEL, G.J.; RAMAKRISHNAYYA, B.V.; PATEL, B.K. Effect of soil and foliar application of ferrous sulfate and of acidulation of soil on iron chlorosis of paddy seedlings in Goradu soil, nurseries in India. **Plant Soil**, Netherlands, v. 46, p. 209-219, 1977.

- PEIXOTO, H.P.P.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANA, R.; MOSQUIM, P.R.; MOREIRA, A. M.; Aluminum effects on lipid peroxidation and the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 11, p. 137-143, 1999.
- PEREIRA, A. S.; DANIELS, J. **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2003. 567p.
- PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Rio de Janeiro: EDUR, 1998. 159p.
- POLACCO, Joseph C.; HOLLAND, Mark A. Roles of urease in plant cells. **International review of cytology**, London, v. 145, p. 65-103, 1993
- RAM, N.; VERLOO, M.; COTTENIE, A. Response of bean (*Phaseolus vulgaris*) to foliar spray of titanium. **Plant Soil**, [S.l.], v. 73, p. 285-290, 1983.
- RAMA DEVI, S.; PRASAD, M.N.V. Copper toxicity in *Ceratophyllum demersum* L. (Coontanil), a free floating macrophyte: response of antioxidant enzymes and antioxidants. **Plant Science**, Amsterdam, v. 138, p. 157-165, 1998.
- REDDY, A. R.; CHAITANYA, K. V.; VIVEKANANDAN, M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 161, p. 1189-1202, 2004.
- RICE-EVANS, C.A, DIPLOCK, A.T, SYMONS, M.C.R. **Techniques in free radical reserach**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers BV, 1991. v.22, 291p.
- RODRIGUES, F. A. Nível crítico do índice SPAD na folha da batateira, em solução nutritiva. **Horticultura Brasileira**, Vitoria da Conquista, v. 18, p. 764-765, 2000.
- ROMERO-PUERTAS, M.C.; PALMA, J.M.; GÓMEZ, M.; DEL RÍO, L.A.; SANDALIO, L.M. Cadmium causes the oxidative modification of proteins in pea plants. **Plant Cell and Environment**, v.25, p.677-686, 2002.
- SARADHI, P.P.; ALIA, ARORA S.; PRASAD, K.V.S.K. Proline accumulates in plants exposed to UV radiation and protects them against UV induced peroxidation. **Biochemistry Biophysics Acta**, Cambridge, v. 209, p.1-5, 1995.
- SCHOBERT, B., TSCHESCHE, H. Unusual solution properties of proline and its interactions with proteins. **Biochemistry Biophysics Acta**, Cambridge, v. 541, p. 270-277, 1978.
- SCHRÖDER, J. J. et al. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. **Field Crops Research**, Madison, v. 66, n.2, p. 151-164, 2000.
- SEIM, H.J.; CALKINS, R.C.; MACKSEY, J.A. Nonferrous metallurgy-light metals: Aluminium, beryllium, titanium and magnesium. **Anal. Chem**, Pleasanton, v. 49, p. 72R-83R, 1977.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene expression and signal transduction in water-stress response. **Plant physiology**, Lancaster, v. 115, n. 2, p. 327, 1997.

SILVA, M. C. C.; FONTES, P. C. R.; MIRANDA, G. V. Índice spad e produção de batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Botucatu, v. 27, p.17-22. 2009.

SILVERMAN, M.P. AND MUÑOZ, E.P. Fungal leaching of titanium from rock. **Applied Microbiology**, Oxford, v. 22, p. 923-924, 1971.

SIMON, L.; BALOGH, A.; HAJDU, F.; PAIS, I. Effect of titanium on the carbohydrate content and phosphofructokinase enzyme activity of tomato. In: I. Pais (ed.), New Results in the Research of Hardly Known Trace Elements and Their Importance in the International Geosphere-Biosphere Program. **University of Horticultural and Food Science**, Budapest, p. 49-84, 1990.

SIMON, L.; HAJDU, F.; BALOGH, A.; PAIS, I. Effect of titanium on growth and photosynthetic pigment composition of *Chlorella pyrenoidosa* (green alga). II. Effect of titanium ascorbate on pigment content and chlorophyll metabolism of chlorella. In: I. Pais (ed.), New Results in the Research of Hardly Known Trace Elements and Their Role in the Food Chain. **University of Horticultural and Food Science**, Budapest, p. 87-101, 1988.

SIRKO, A. AND BRODZIK, R. Plant ureases: roles and regulation. **Act. Biochemistry**, Polonies, v. 47, p. 1189-1195, 2000.

SRIVASTAVA, H.S. Distribution of nitrate reductase bean seedlings. **Plant Cell Physiology**, Oxford, v.16, p. 995-999, 1975.

SUTTLE JC. Physiological regulation of potato tuber dormancy. **American Journal of Potato Research**, Oregon, v. 81, p. 253-262, 2004.

TAKALA, K.; OLKKONEN, H. Titanium content of lichens in Finland. **Annales botanici Fennici**, Helsinki, v. 22, p. 299-306, 1985.

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-induced changes in antioxidante enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*). **Plant Science**, Amsterdam, v. 153, p. 65-72, 2000.

TLUSTOŠ, P.; Cígler, P.; Hrubý, M.; Kužel, S.; Száková, J.; Pavlíková, D.; Balík, J. The role of titanium in biomass production and its influence on essential elements contents in field growing crops. **Plant Soil and Environment**, Praha, v. 51, p. 19-25, 2005.

UREN, N.C. Forms reactions and availability of iron in soils. **Journal Plant Nutrition**, Georgia, v.7, p. 165-76, 1984.

VACA, C. E.; WILHELM, J.; HARMS-RINGDAHL, M. Interaction of lipid peroxidation products with DNA. A review. **Mutation Research/Reviews in Genetic Toxicology**, North Carolina, v. 195, n. 2, p. 137-149, 1988

VALPUESTA, V., BERTELI, F., PÉREZ-PRAT, E., et al. Cambios metabólicos y de expresión génica en plantas superiores en respuesta al estrés salino. **Agriscientia**, Córdoba, v.9, p.55-63, 1992.

WERNER, J.E., FINKELSTEIN, R.R. *Arabidopsis* mutants with reduced response to NaCl and osmotic stress. **Physiology Plant Molecular Biology**, Copenhagen, v. 34, p.913-922, 1995.

WITTE CP, TILLER SA, TAYLOR MA, DAVIES HV. Leaf urea metabolism in potato: urease activity profile and patterns of recovery and distribution of N-15 after foliar urea application in wild-type and urease- antisense transgenics. **Plant Physiology**, United Kingdom, v. 128, p. 1129–1136, 2002.

YAGHOUBI, S., SCHWIETERT, CH. W., MCCUE, J. P. Biological Roles of Titanium. **Biological Trace Element Research**, San Diego, vol. 78, 2000, 205 – 217.

YIN, X.Y.; LANTINGA, E.A.; SCHAPENDONK, A.H.C.M.; ZHONG, X. Some quantitative relationships between leaf area index and canopy nitrogen content and distribution. **Annals of Botany**, London, v.91, p.893-903, 2003.

YORINORI, G. T. **Curva de crescimento e acúmulo de nutrientes para a cultura da batata cv. Atlantic**. 2003. 79p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” -Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2003.

YRUELA, I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. **Functional Plant Biology**, v.36, p.409-430, 2009.