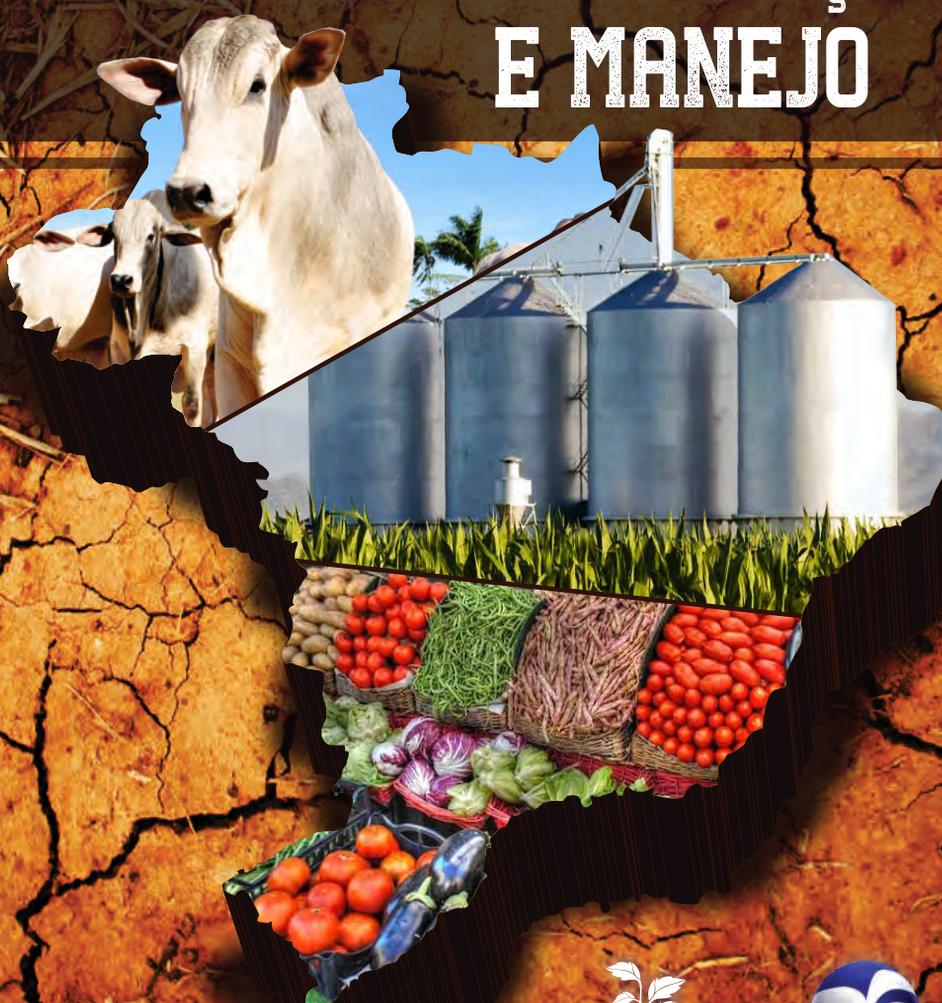


AGRONEGÓCIO BRASILEIRO: TÉCNICAS DE PRODUÇÃO E MANEJO



UNIRAXÁ
CENTRO UNIVERSITÁRIO

José Carlos da Silva
Rafael Tadeu de Assis
Paulo Roberto Fávero de Fravet
Organizadores

**AGRONEGÓCIO BRASILEIRO:
TÉCNICAS DE PRODUÇÃO E
MANEJO**

2017

Editores responsáveis

José Carlos da Silva
Rafael Tadeu de Assis
Paulo Roberto Fávero de Fravet

Capa

Lina Maria Machado Duarte
Lucíola Montovani Marques
Setor de Marketing Uniaraxá

Revisores

José Carlos da Silva
Rafael Tadeu de Assis
Paulo Roberto Fávero de Fravet

Revisão ortográfica

Fabíola Melo
Adriene Costa de Oliveira Coimbra

Diagramação

Adriana Cardoso

Impressão e acabamento

Composer

Ficha catalográfica

Maria Clara Fonseca – Bibliotecária CRB 6/942

Agronegócio Brasileiro: técnicas de produção e manejo / organização: José Carlos da Silva, Rafael Tadeu de Assis e Paulo Roberto Fávero de Fravet. Uberlândia: Composer, 2017.

202 p. : il.

ISBN: 978-85-8324-056-3

1. Agronegócio. 2. Manejo. 3. Tecnologia. I. Silva, José Carlos da. II. Assis Rafael Tadeu de. III. Fravet, Paulo Roberto Fávero de. VI. Título.

APRESENTAÇÃO

A economia do Brasil, atualmente, tem sido vista como um problema para os cidadãos brasileiros; especificamente, com a alta dos juros e o desemprego crescente. No entanto, o agronegócio tem representado o diferencial nesse cenário não muito animador; pois, na contramão de todos os entraves que o país tem vivenciado, esse setor se apresenta como muito produtivo; contribuindo, assim, para a melhoria da tecnologia empregada bem como na produção de alimentos cada vez mais qualificada, para a oferta tanto do mercado interno como o externo.

Assim sendo, no âmbito do agronegócio, o país, atualmente, apresenta um cenário dos mais otimistas, tendo em vista as novas técnicas aplicadas; e, o conseqüente aumento da produtividade de vários setores da economia rural.

Os resultados obtidos no âmbito do agronegócio e do agropecuário vêm sendo acumulados a cada ano, com superávit da Balança Comercial; o que vem refletindo no PIB brasileiro.

A partir de reflexões e pesquisas no campo do agronegócio, fez surgir a obra que ora se apresenta; pois, ela traz aos leitores temas relacionados a essa área do conhecimento bem como as experiências de profissionais e as revisões bibliográficas as quais, certamente, poderão contribuir para uma reflexão mais aprofundada de todos os interessados pela Ciência da Terra.

O trabalho relata sobre as várias possibilidades e potencialidades de nossas terras em produzir riquezas por meio do cultivo de plantas e da criação de animais; vislumbrando o fortalecimento cada vez maior do agronegócio brasileiro.

Os assuntos foram selecionados com o intuito de demonstrar como os vários segmentos são estudados e desenvolvidos no setor do agronegócio brasileiro, como também retratar a realidade desse setor. A finalidade precípua foi a de buscar novos horizontes e apontar, quiçá, para uma expectativa mais animadora para esse cenário; que, por si só, representa altamente promissor.

Os leitores terão a oportunidade de conhecer os temas aqui abordados, os quais estão voltados para a realidade brasileira e as

atividades desenvolvidas na cadeia produtiva do agronegócio. Os assuntos discutidos são diversificados e amplos; propostos como ferramentas importantes para o desenvolvimento de projetos, em cada um dos segmentos do setor produtivo.

Um dos assuntos apontados são os cálculos empregados nas avaliações de imóveis e empreendimentos rurais; atividade considerada extremamente importante para as entidades financiadoras de crédito rural.

Outro assunto abordado é a divulgação de técnicas e de pesquisas do agronegócio, as quais são relevantes para o manejo de culturas cada vez mais eficientes; cuja responsabilidade é produzir alimento de qualidade para uma população cada vez mais crescente.

Assim, a presente obra, em sua sexta edição, cumpre o compromisso de ir em frente com reflexões, discussões, projetos inovadores; sempre pautados na qualidade dos textos apresentados; e, principalmente, buscando manter-se ao lado do produtor rural; colaborando para que sua produção seja cada vez mais aprimorada.

Os organizadores agradecem a todos os autores que participaram do livro com seus capítulos e discussões importantes sobre o agronegócio, com o objetivo de se buscar o melhor.

Os agradecimentos à Comunidade Acadêmica, às empresas parceiras, à Direção, à Coordenação e à Reitoria do UNIARAXÁ por contribuírem para que esse projeto tivesse continuidade.

Dr. José Carlos da Silva

SUMÁRIO

1 NUTRITIONAL ASPECTS INTEGRATED TO PLANT DEFENSE MECHANISMS AGAINST PATHOGENS: WHAT IS ABOUT WHITE MOLD?

1. Introduction.....	11
2. Soil pH.....	13
3. Plant nutrition and white mold.....	14
4. Mineral nutrition and plant defenses.....	15
4.1 Nitrogen (N).....	18
4.2 Potassium (K).....	22
4.3 Phosphorus (P).....	25
4.4 Calcium (Ca)	25
4.5 Magnesium (Mg).....	27
4.6 Sulfur (S).....	28
4.7 SILICON (Si).....	28
4.8 Micronutrients.....	30
5. Final considerations.....	34
7. Bibliographical references.....	34

2 PRODUÇÃO DE SILAGEM COM QUALIDADE

1. Introdução.....	49
2. Planejamento para produção de silagem com qualidade.....	50
2.1 Escolha da Cultura/Híbrido.....	50
2.2 Plantio.....	51
2.3 Colheita.....	52
2.4 Ensilagem.....	54
2.5 Desensilagem.....	56

2.6 Considerações Finais.....	57
2.7 Referências Bibliográficas.....	57

3 BIOESTIMULANTES NA AGRICULTURA

1. Introduções.....	61
2. Microrganismos inoculantes.....	62
3. Substâncias Húmicas.....	66
4. Aminoácidos.....	69
5. Extratos de algas.....	72
6. Considerações finais.....	75
7. Referências bibliográficas.....	75

4 METODOLOGIA BRASILEIRA PARA AVALIAÇÃO DE IMÓVEIS RURAIS

1. Introdução.....	89
2. Conceito de Imóvel rural.....	91
3. Avaliação de Imóveis Rurais.....	91
4. Objetivo da avaliação.....	92
5. Finalidades da avaliação de imóvel rural.....	93
6. Normas e Legislação.....	93
7. Métodos de Avaliação.....	94
8. Método comparativo de dados de mercado.....	94
9. Método involutivo.....	96
10. Método evolutivo.....	96
11. Método da capitalização da renda	97
12. Método comparativo direto de custo.....	97
13. Método da quantificação de custo.....	97

14. Especificações das avaliações.....	97
14.1 Quanto à fundamentação.....	98
14.2 Quanto à precisão.....	98
15. Considerações finais.....	98
16. Referências bibliográficas.....	99

5 TECNOLOGIAS PARA CONSERVAÇÃO DE SEMENTES NATIVAS

1. Introdução.....	101
1.1 A importância da conservação de sementes nativas.....	101
2. Requisitos para o armazenamento de sementes.....	103
3. Tecnologias de conservação de sementes tolerantes à dessecação.....	103
4. Tecnologias de conservação de sementes sensíveis à dessecação.....	106
5. Panorama mundial da conservação de sementes.....	107
6. Referências bibliográficas.....	108

6 DIAGNOSE NUTRICIONAL DA CULTURA DO CAFEIEIRO

1. Considerações preliminares.....	111
2. Introdução.....	111
3. Interpretação dos resultados da análise foliar.....	113
4. Métodos de interpretação dos dados da análise foliar.....	114
4.1 Faixa de suficiência.....	114
4.2 Faixas críticas em flores.....	116
4.3 Fertigrama.....	117
4.4 Desvio do ótimo percentual e índices balanceados de Kenworth.....	118

4.5 Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS).....	121
5. Considerações finais.....	129
6. Referências bibliográficas.....	129
7 O SILÍCIO PARA A CULTURA DA CANA - DE -	
AÇÚCAR	
1.Introdução.....	135
1.1 A cultura da cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum L.</i>)..	135
2. Silício no solo.....	137
3. Silício na cultura da cana-de-açúcar.....	142
4. Fontes de silício.....	145
5. Referências bibliográficas.....	149
8 USO DE INSETICIDAS BOTÂNICOS: POTENCIAL,	
DESAFIOS E PERSPECTIVAS	
1. Introdução.....	161
2. Inseticidas botânicos: um enfoque nas pragas <i>Plutella xylostela</i> e <i>Spodoptera frugiperda</i>	163
3. Considerações finais.....	170
4. Referências bibliográficas.....	171
9 FERTILIZANTES NPK: PRODUÇÃO E DINÂMICA DOS	
NUTRIENTES NO SOLO E NA PLANTA	
1. Introduções.....	175
2. Fertilizantes nitrogenados.....	176
2.1 Processo do arco voltaico.....	176
2.2 Síntese da amônia (NH ₃).....	177
2.3 Obtenção de ureia.....	177

2.4	Obtenção do sulfato de amônio	178
2.5	Obtenção do Nitrato de amônio	178
2.6	Nitrogênio no solo.....	179
2.7	Nitrogênio na planta.....	182
3.	Fertilizantes fosfatados.....	183
3.1	Fósforo no solo.....	186
3.2	Fósforo na planta.....	189
4.	Fertilizantes Potássicos	191
4.1	Potássio no solo.....	194
5.	Referências bibliográficas.....	196

NUTRITIONAL ASPECTS INTEGRATED TO PLANT DEFENSE MECHANISMS AGAINST PATHOGENS: WHAT IS ABOUT WHITE MOLD?



ERNANE MIRANDA LEMES
Agronomist. Plant Pathologist. PhD. Agrarian Sciences Institute of the Federal University
of Uberlândia. E-mail: ernanelemes@yahoo.com.br

REGINA MARIA QUINTÃO LANA
Soil Scientist. PhD. Titular Professor. Agrarian Sciences Institute of the Federal University
of Uberlândia. E-mail: rmqlana@ufu.br

JOSÉ GERALDO MAGESTE DA SILVA
Forest Engineering. PhD. Assistant Professor. Agrarian Sciences Institute of the Federal
University of Uberlândia. E-mail: jgmageste@ufu.br

LEONARDO HUMBERTO SILVA E CASTRO
Agronomist. Plant Pathologist. PhD student (Genetics and Breeding). Center of
Agrarian Sciences and Engineering of the Federal University of Espírito Santo. E-mail:
leonardohumbertoagro@hotmail.com

WILLIAN BUCKER MORAES
Agronomist. Plant Pathologist. PhD. Assistant Professor. Center of Agrarian Sciences and
Engineering of the Federal University of Espírito Santo. E-mail: willian.fito@gmail.com

1. Introduction

The availability of nutrients to plants is an environmental factor that affects the relationship between plants and their pathogens. Plant pathogens have the potential to limit crop production, especially in conditions of low soil fertility and after successive cropping seasons. Generally, agriculture uses large quantities of pesticides and it often neglected the fact that well-nourished plants are more resistant to diseases and that the nutrients and their interactions also influence the plant susceptibility to diseases.

The interactions between plant diseases and nutritional disorders are among the premises that should be intensively studied to increase the efficiency of plant disease management. These nutritional disorders (plant nutrient excess or shortage) are predisposing conditions to plant diseases, and also can increase disease severity and distribution (DATNOFF *et al.*, 2006; FREITAS *et al.*, 2016). Understanding how the interaction “plant disease *vs.* plant nutrition” takes action can help

crop nutrition management in a more sustainable way and prevent or control plant disease. Also, a more efficient system of plant nutrition can reduce the environmental impact caused by inefficient plant disease control strategies.

Plant nutritional deficiencies can promote morphological and biochemical changes in plants, altering the architecture, anatomy and chemical composition of the plant tissues (DATNOFF *et al.*, 2006; BELAN *et al.*, 2015). There are also changes in physiological and biochemical plant properties, as adjustments in the production of substances that repels or inhibits the development of plant diseases (YAMADA, 2004).

According to Huber (2002), the major changes that reduce disease severity in plants with no nutrient deficiencies are, (1) thicker cuticle and cell wall; (2) retention of soluble compounds (simple sugars and amino acids) inside the cell; (3) higher cell suberisation, lignification and silicification; (4) enhanced synthesis of phenolic compounds and (5) lower stomatal opening. These changes indicate how mineral nutrients are directly involved with plant defense mechanisms by interfering in the production of cell components, enzymes, electron carriers, or by acting as activators, inhibitors or regulators of the plant metabolism (HUBER & GRAHAM, 1999; HUBER, 2002; DATNOFF *et al.* 2006).

Plant resistance to pathogens is primarily a genetic function. Plants that are highly susceptible would remain very affected by pathogens, even with a balanced nutrition. Crop varieties that already have high genetic resistance to diseases are less affected by nutrient imbalances than varieties with low to no genetic resistance. However, to express its full potential of defense against pathogens, plants need a complete and balanced nutritional condition. Also, plant responses to biotic and abiotic stresses rely on a genetic set of signals and plant hormones that are modulated by the nutritional status of the plant which would interact at various levels of the defense signaling pathways (GRAHAM, 1983; AMTMANN *et al.*, 2008; TAO *et al.*, 2009; BALAKHNINA; BORKOWSKA, 2013).

Plant disease control is a routine in many cropping production systems. Such activity is usually a group of practices intended to avoid the entry of plant diseases and/or to control its development in crop

field after entrance. These practices include soil corrections, balanced nutrient availability, seed treatment, biocides pulverizations, crop rotation, among others. All these practices must be coordinated to reduce the chances of an outbreak, especially for aggressive plant diseases like white mold - a fungal disease caused by *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) De Bary - which cannot be controlled by simple agronomic measures. A good strategy to keep white mold under low levels of crop damage starts with adequate plant nutrition management.

2. Soil pH

The soil pH affects the availability and absorption of nutrients by plants, and consequently the plant resistance to pathogens that can be controlled through a good plant nutrition. Many plant diseases can be classified as diseases of low pH, or high pH. For example, diseases such as vegetables wilting (*Verticillium* sp.), cotton root rot (*Phymatotrichum* sp.), and potato scab (*Streptomyces scabies*) have their crop damage reduced in acid soils (low pH) (DUARTE *et al.*, 2008), while tobacco root rot (*Thielaviopsis* sp.), bacterial wilt of potato (*Pseudomonas solanacearum*), and club root of crucifer (*Plasmodiophora brassicae*) are associated with acid soils (low pH) (SHARMA, 2013).

The soil pH has a profound impact in the availability of nutrients, which play an important role in plant nutrition, and consequently in the control of diseases. For example, the nitrogen can be applied as ammonium (NH_4^+) and/or nitric (NO_3^-) sources, and each one has a great influence on soil pH and in the emergence of diseases. Sulfur and ammonia sources are used to decrease the soil pH and reduce the effects of potato scab, while Ca, K, and the NO_3^- can increase these effects, because they raise the soil pH (FISHER *et al.*, 2005; PAVLISTA, 2005).

Managing the nutrient availability in the soil can be performed directly through the application of appropriate fertilizers, or indirectly, through soil pH correction (liming) (Datnoff *et al.*, 2006). The soil nutrient availability also can be changed through different cultural practices like, irrigation, organic fertilizations, organic-mineral fertilizations, silicification (application of silicon - it will be subsequently cited), intercrop planting, the use of bioactivadors and/or biostimulants, inoculation of microorganisms to seeds, among others.

The white mold is a disease that can occur in a wide range of soil pH, between 2.5 and 8.5 where there may be pathogen growth, as observed by Rai & Agnihotri (1971) and Elgorban *et al.* (2013). These authors also observed that the best pH range for the development of the disease, was between 4.0 and 6.0, that also coincides with the best soil pH range for the development of most agricultural crops, which makes this disease difficult to control through soil pH variation.

3. Plant nutrition and white mold

The nutritional status of a crop is an excellent measurement or characteristic of its resistance or its susceptibility to diseases (AGRIOS, 2008). However, aggressive diseases such as white mold are not controlled only through managing the fertilizing routine. In this case, the nutritional balance is only a complementary strategy for the management of the plant disease (DATNOFF *et al.*, 2006).

White mold is a cosmopolitan plant disease of high destructive potential, parasite several hosts in 75 plant families and capable of producing long-lasting sclerotia (resting structure) in soil (BOLAND & HALL 1994; LEITE, 2005; BOLTON *et al.*, 2006; SAHARAN & MEHTA, 2008). As for every crop disease complex, the white mold development is affected by the availability of nutrients to the host plant (ABAWI *et al.*, 1975; DATNOFF *et al.*, 2006). It is also well known that spore germination occurs more easily when there is the availability of nutrients and so the infection can start (PURDY, 1958; BARDIN & HUANG, 2001; DIVON & FLUHR, 2007). The nutrients for spore germination can be acquired on flowers and senescent tissues, in regions with injuries, or in any other area of the plant where there is sugars secretion and water can accumulate (NEWTON & SEQUEIRA, 1972; SEDUN & BROWN, 1987; CLARKSON *et al.*, 2014).

Soil plant pathogens, such as white mold, are particularly difficult to be controlled with alternative techniques because they have structures of resistance that may persist for many years in an adverse environment (CLARKSON *et al.*, 2003). The initial formation of a *S. sclerotiorum* sclerotium is not influenced by extreme changes in temperature, light or nutrient availability (WILLETTS & WONG, 1980). However, the growth and maturation of sclerotia are dependent on the quantity and

type of the nutrients available (TREVETHICK & COOKE, 1973; GROGAN, 1979).

In agricultural areas already infected by white mold, the integrated management involving all nutrients plays a key role in inoculum and disease aggressiveness, however, its elimination from cultivated areas is very difficult. In addition to a balanced nutrition, other cultural practices such as the reduction of the plant stand, especially in fertile soils, increase the distance between sowing lines, soil bury sclerotia (tillage cropping system), crop rotation with non-host plants of *S. sclerotiorum*, as for example the Poaceae family (maize, wheat, barley, oats, etc), and the cultivation of cover crops suppressive to the pathogen. These practices used together are more efficient to reduce *S. sclerotiorum* inoculum and contain white mold development (PAULA JUNIOR *et al.*, 2006; BARBOSA *et al.*, 2012; PELTIER *et al.*, 2012; FURLAN, 2015).

The practices to disfavor *S. sclerotiorum* establishment and survival also increase soil organic matter and consequently increase the microorganism diversity (CRUSCIOL *et al.*, 2005; GÖRGEN *et al.*, 2009) which will suppress *S. sclerotiorum* inoculum (MARCELO *et al.*, 2009; TOLEDO-DE SOUZA *et al.*, 2008; MACHADO & ASSISI, 2010). Also, a plenty nutrient availability also stimulates the development of decomposer microorganisms in soil which can degrade the sclerotia and reduce *S. sclerotiorum* viability (COLEY-SMITH & COOKE, 1971; STEADMAN, 1979; PEREIRA *et al.*, 2013).

High crop productions are possible to obtain in areas already infected with white mold. However, beyond a complete plant nutrition, it is essential to use various agronomic strategies as the use of specific fungicides (OLIVEIRA, 2005), antagonistic microorganisms (MORETINI & MELO, 2007), crop rotation (KLUTHCOUSKI *et al.*, 2003) and cover crops to suppress the development of the fungus *S. sclerotiorum* (MONTEIRO *et al.*, 2012) achieving profitable crop production.

4. Mineral nutrition and plant defenses

There are contradictory statements regarding the effects of nutrients in plant disease control, since many factors that influence the

answers are not well elucidated (DORDAS, 2008), however it is well known that plants well-nourished are less prone to diseases. There are mechanisms that drive the effects of both macro and micronutrients for resistance to plants diseases. The nutritional deficiency may lead to accumulation of low molecular weight organic substances that are conducive to the development of plant pathogens and can also increase the lignification and the synthesis of phytoalexins (POZZA *et al.*, 2001).

Phytoalexins are low molecular weight compounds that have antimicrobial activity and are produced by the plant in stressful conditions (JEANDET, 2015). These phytoalexins and lignin are mainly synthesized in the route of shikimic acid in biochemical reactions catalyzed by various micronutrients, as shown in Figure 1 (YAMADA, 2004).

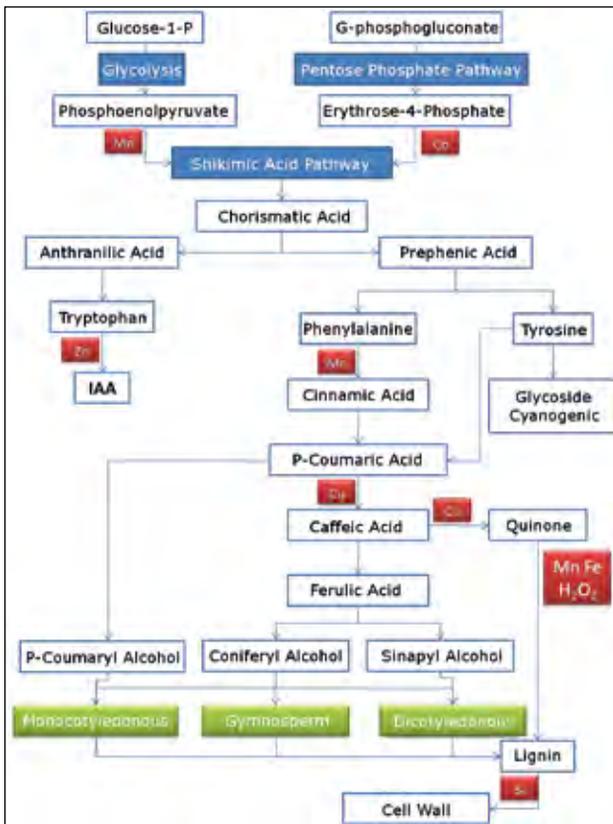


Figure 1 - Shikimic acid route catalysed by micronutrients to produce phytoalexins and lignin. Adaptated from Graham and Webb (1991).

Mineral nutrients such as potassium (K), calcium (Ca), sulfur (S), copper (Cu), boron (B), manganese (Mn) and silicon (Si) contribute positively to the process of tissue lignification which makes it difficult for the establishment and development of plant pathogens through improved plant physical strength and biochemistry defenses against these agents (MARSCHNER, 2012). Each nutrient plays a specific role in plant metabolism and its deficiency or excess cause nutritional imbalances and alters morphological and physiological plant mechanisms (TAIZ & ZEIGER, 2013).

According to Marschner (2012) and Huber (2002), there is little information about the beneficial effects of the plant nutritional status on the defense mechanisms against bacteria and viruses. However, there is clear evidence of action against fungal diseases and insect attack. The protection promoted by a balanced plant mineral nutrition is the joint result of the following factors:

1- great physical efficiency to avoid the penetration of fungal hyphae, through a thick cuticle and lignification and/or accumulation of silicon layer under cuticle;

2- control of the cytoplasmic membrane permeability, preventing the exit of sugars and amino acids (nutritious to pathogens) to the intercellular space, and,

3- increase the production of phenolic compounds, with distinct fungicide and fungistatic properties. These factors are best seen in Figure 2.

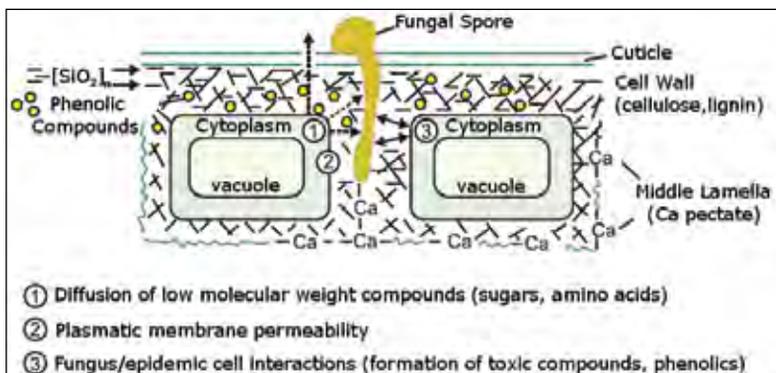


Figure 2 - Diagram of a fungal hyphae penetration in leaf via apoplast, and factors that affect this penetration and the fungal development related to nutrition. Adapted from Marschner (1995).

Each nutrient contributes, therefore, in a unique way to the metabolic balance of the plant, thus requiring a deep knowledge of the interactions with the genetics and the environment, as well as the plant/pathogen interaction, in order to maximize their effect in controlling the disease in question. The nutritional status of the plant is a determinant histological and physiological condition for the establishment and the progress of a disease (HUBBER, 2002).

The main effects of some nutrients in the epidemiology of various plant diseases will be presented below, with special attention to the white mold plant disease.

4.1 Nitrogen (N)

Nitrogen is an essential nutrient for plants as well as for agricultural crops, and it has a close relationship with the development of phytopathologies. Deficiency as much as excess of N can cause abnormalities in the plant metabolism because this nutrient is involved in the synthesis of amino acids, proteins and growth hormones as the acid indole acetic acid (IAA), phenols and phytoalexins. These compounds also inhibit and survival of *S. sclerotioium* (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Phenolic compounds defend plants against herbivory and plant pathogens (YAMADA, 2004). Two basic metabolic routes are involved in the synthesis of phenolic compounds: the route of shikimic acid and the route of malonic acid. Shikimic acid participates in the biosynthesis of the majority of plant phenols and converts precursors of carbohydrates derived from glycolysis and route of pentose phosphate in aromatic amino acids. Malonic acid is an important source of secondary phenolic products in fungi and bacteria, but it is less pronounced in higher plants (YAMADA, 2004).

When there is good supply of N there is high demand for organic carbon from photosynthesis, through the Krebs cycle and thus compromises the synthesis of secondary metabolites, such as phenolic compounds, via the shikimic acid. In full N supply conditions, the opposite occurs, with the formation of large pools of phenols and alkaloids that may be intended for the protection of the plant (YAMADA, 2004) The effect of N availability for plants resistance to pathogens is schematically illustrated in Figure 3.

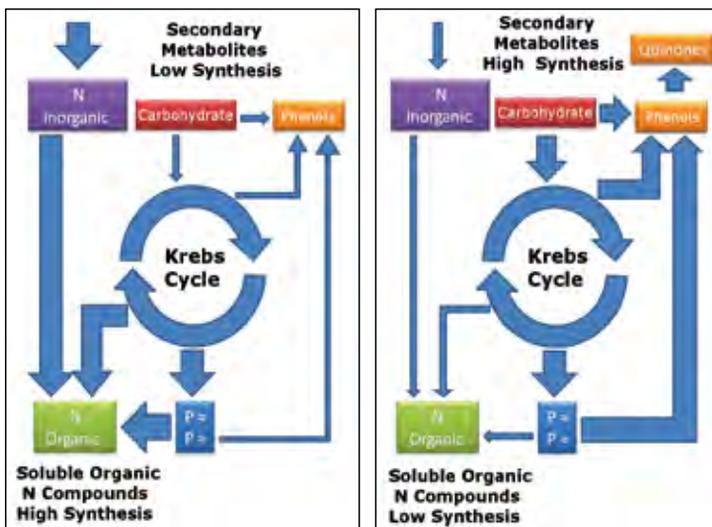


Figure 3 - Synthesis of secondary metabolites as a function of high (left) or low (right) N availability. Adapted from Graham and Webb (1991).

Lecompt *et al.* (2013) observed that the metabolic modifications induced by variations in N (nitrate - NO_3^-) availability in lettuce, induced variations in the concentrations of sucrose and fructose inducing different tolerance levels for two saprophytic fungi: *Botrytis cinerea* and *S. sclerotiorum*. High doses of N are responsible for (i) providing greater leaf areas for infection, (ii) inducing the accumulation of sugars and amino acids in root apoplast and symplast and (iii) affecting other N compounds in vacuoles or in intercellular spaces that can sustain an infectious process.

The excess of N also reduces the resistance of the plant due to the growth of juvenile tissues which are more susceptible to the attack of pathogens. Young plant tissues are also reduced in lignification. In plants with prostrate habit, the abundant growth of biomass increases the contact of the lower leaves with the soil, making it easy to get infected by *S. sclerotiorum* (WALLACE *et al.*, 1990; PEREIRA *et al.*, 2013). Ali Abro *et al.* (2014), reported that high doses of N in the form of ammonium nitrate (NH_4NO_3) also increased the size of the lesion and the susceptibility of lettuce to white mold.

In annual crops, like soybean, this increase in biomass has

accelerated the closing of the rows by plants canopy, which favored the development of white mold by prolonging the shading and moisture in low plants (DEGREE & CRAIG, 1998; BUTZLER *et al.*, 1998). The high N availability leads to an increase in the concentration of amino acids and amides in root apoplast and at the leaf surface. These increases have greater influence than sugars in the germination and development of conidia (non sexual spores), favoring the development of fungal diseases (MALAVOLTA, 2006; HUBER & THOMPSON, 2007; MARSCHNER, 2012).

The fungus *S. sclerotiorum* can use both organic and inorganic compounds as N source (CLEAR, 2003). However, there is evidence that both, the present form of N and the ratio carbon/nitrogen, can considerably influence the formation of sclerotia by *S. sclerotiorum* (MARUKAWA *et al.*, 1959; Le TOUMEAU, 1979; SAHARAN & MEHTA, 2008).

Another interesting fact reported by Gharieb & Gadd (1999) was the largest production of oxalic acid (OA) by different fungi (e.g. *Aspergillus niger*, *Penicillium bilaii*, *Paxillus involutus*) when they were supplied by N-NO₃⁻. When the supply was as ammonium (NH₄⁺) there was a small production of OA. The presence of OA and other hydrolytic enzymes are an indication of the potential to degradate plant cells, and its production is related to the severity of the infection by *S. sclerotiorum* in different hosts (CESSNA *et al.*, 2000). The OA produced by *S. sclerotiorum* damages the tissues of the host plant forming a distinct soaking margin, in the following sequence:

- 1- the OA reacts with the Ca present in pectates at the xylem, macerating the plant tissue;
- 2- air entrance in the xylem vessels causing embolism - the dispersion of OA also promotes the reduction of the root apoplast pH;
- 3- increases the action of cell wall degrading enzymes;
- 4- inhibition of the plant defenses (MARCIANO *et al.*, 1983; CESSNA *et al.*, 2000; MWANGI *et al.*, 2012).

All the factors that contribute to the metabolic activity and synthesis of host cells also increase the resistance to facultative parasites that prefer senescent tissue to develop, as observed in the examples of Table 1.

Table 1. Effects of N and K levels of on some plant diseases.

Pathogens and Diseases	N Level		K Level	
	low	high	low	high
Non Facultative Pathogens				
<i>Puccinia</i> spp. (rusts)	1 ¹	3	4	1
<i>Erysiphe graminis</i> (oidium)	1	3	4	1
Facultative Pathogens				
<i>Alternaria</i> spp. (foliar spots)	3	1	4	1
<i>Fusarium oxysporum</i> (wilt and rot)	3	1	4	1
<i>Xanthomonas</i> spp. (spots and wilt)	3	1	4	1

¹- 1 = low damage, 2 = considerable damage, 3 = high damage, 4 = severe damage.

Source: Marschner (2012).

A balanced N fertilization is an excellent strategy for reducing the severity of leaf blotch (*Bipolaris* spp.), anthracnose (*Colletotrichum graminicola*) and rust (*Puccinia* spp.) in corn, according to Santos *et al.* (2013). For cotton and lettuce it is also recommended to follow a program of fertilization without excesses of N to reduce the severity of *S. sclerotiorum* (CHITARRA, 2007; ALI ABRO *et al.*, 2014). In carrots, the application of lower doses of N (6 kg ha⁻¹ N) reduced the aerial part, the leave density and plant lodging, consequently reducing the incidence of white mold when compared with carrots grown in doses of 60 kg ha⁻¹ N (COUPER, 2001). In Indian mustard (*Brassica juncea* L.), Bairwa *et al.* (2014) found that doses of N greater than 80 kg ha⁻¹ were favorable to the development of white mold.

The excessive fertilization of N can also increase the incidence and severity of diseases such as soft rot caused by *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* (EVERAARTS, 1999) and the canker caused by *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in broccoli (SILVA-JUNIOR, 1986). However, for *Sclerotinia rolfii* in *Houttynia cordata* (chameleon plant) no relationship was found between the availability of N and the growth of the pathogen in culture medium (TAO *et al.*, 2009). However, Seabra Junior *et al.* (2008) found that both the absence and the excess of N increased the severity of crucifer's black rot caused by *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*.

4.2 Potassium (K)

The K is directly related to the control of diseases and the quality of the final production (GARCIA JUNIOR, 2002). It is present in high concentrations in citosol and chloroplasts ($100-200 \text{ mmol L}^{-1}$), inhibiting anions of organic and inorganic acids and stabilizing the cell pH near neutrality. In cellular compartments where the K is in high concentrations there are optimal conditions for many enzymatic reactions for the synthesis of various compounds and the activation of enzymes, however, K is not a constituent of any organic molecule in plants (DORDAS, 2008).

In conditions of deficiency of K in the soil, the translocations of soluble compounds in plants become slower, causing accumulation of sugars of low molecular weight in leaves, which favors the development of diseases (HARRIS, 2001). It is important to note that an excess of K is also associated with the development of diseases, since this interferes with translocation and physiological availability of Ca, Mg, Zn, Mn, N and silicon. It was also recorded that the low concentration of K in the phloem has delayed the start of the reaction against plant pathogens (MARSCHINER, 2012).

The K is the macronutrient that presents more consistent positive results in reducing the incidence of pests and diseases (AMTMANN *et al.*, 2008). Appropriate levels of K reduced the incidence of various diseases such as bacterial leaf blight, sheath blight, phytophthora stem rot, sesamum leaf spot in rice, black rust in wheat, sugary disease in sorghum, bacterial leaf blight in cotton, cercospora leaf spot, tikka leaf spot in peanut, red rust in tea, cercospora leaf spot in mung bean and seedling rot caused by *Rhizoctonia solani* (DORDAS, 2008; SUGIMOTO *et al.*, 2009).

For white mold, it was found that the balanced fertilization with K provided the lowest defoliation in soybean and smaller areas of foliar injury (GORBANI *et al.*, 2008; ESKER, 2011). The presence of macronutrients, such as K, P, Mg and S, are essential to the growth and formation of sclerotia of *S. sclerotiorum*, producing more survival structures when inorganic nutrients are added (PURDY & GROGAN, 1954). However, the presence of these nutrients in a balanced manner

also allows the host plants to express the maximum of their defenses against diseases, such as the white mold.

A study of the effects of macronutrients in the development of white mold in Indian mustard, it was determined that the application of 80, 60 and 60 kg ha⁻¹ of N, P and K had the highest average percentage of control of *S. sclerotiorum* and greater seed production (BAIRWA *et al.*, 2014). However, Tao *et al.* (2009) studying *Houttuynia cordata* Thunb. (smelling fish plant) showed that only the application N and P, without K, was less effective in reducing the severity of grey mold (*Sclerotium rolfsii* Sacc.) and also had the lowest production of seeds. Chattopadhyay *et al.* (2002) observed that the application of K in fields infected with *S. sclerotiorum* was responsible for significant reductions in the incidence of white mold in culture of mustard.

Another example of K fertilization in the management of diseases, and even pests, is in the soybean crop, where K doses were responsible to improve the quality of the seeds, with reduction of the infection by *Phomopsis* sp. and minor damage caused by bedbug (Table 2).

Table 2. Doses of K₂O in the soybean production, 100 seeds weight, seed infection by *Phomopsis* sp. and bedbug damage.

K ₂ O kg ha ⁻¹	Soybean Production kg ha ⁻¹	Wheight g 100 seed ⁻¹	% effected seed <i>Phomopsis</i> sp.	% Bedbug Damage
0	692 c	10,2 d	19,4 c	11,4 b
40	2.765 b	13,0 c	13,3 b	8,8 ab
80	2.950 ab	14,8 b	1,3 a	5,1 a
120	3.100 a	15,3 ab	3,6 a	5,0 a
160	3.103 a	15,5 ab	2,5 a	5,5 a
200	2.939 a	15,8 a	3,5 a	4,9 a

Source: BORKERT *et al.* (1985) and FRANÇA NETO *et al.* (1985).

The deficiency of K is mostly due to (i) low application of K fertilizer, (ii) high K requirement by the crops, and (iii) possible antagonistic interactions between K and Mg, which interferes on the control on stomata opening, lowers the assimilation of CO₂ and consequently lowers the rate of photosynthesis, promoting an imbalance in the production of amino acids.

The strong production of glutamine, caused by a deficiency of K, promotes the germination of spores of bruzone rice (*Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc) (GRAHAM, 1983). Glutamine is also responsible for delaying the healing of injuries on the plants, which favors the penetration of various pathogens. The loss of cellular turgor, in conditions of deficiency of K, can also be a physical factor that facilitates the penetration of both fungi and insects. The K action has a well defined function in plant resistance to diseases caused by both pathogens as required by optional (Table 1) (YAMADA, 2004).

The phosphites, among them the K phosphite, can act directly or indirectly on the occurrence and severity of the disease, directly when the phosphites inhibit the development of the pathogen and indirectly when induce plant in the production of substances (enzymes, phenols and phytoalexins) that act against the pathogen (CARMONA & SAUTUA, 2011). The K phosphite reduced the severity of Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd) when applied after spraying of fungicides pyraclostrobin + epoxiconazole, thiophanate methyl + flutriafol, or tebuconazole (NEVES & BLUM, 2014). However, Silva *et al.* (2011) observed that the application of this phosphite in soybeans, not only significantly reduced the Asian soybean rust, but also reduced the severity of downy mildew (*Peronospora manshurica* (Naoum.) Syd.). In treatment pre-infection, the K phosphite reduced the number of pustules of *Phakopsora euvitis* Ono (rust) by about 64%, when applied up to five days before inoculation in relation to tebuconazole (BUFFARA *et al.*, 2013).

Seabra Junior *et al.* (2008) also found that higher doses of K reduced the severity of canker (*X. campestris* pv. *campestris*) in broccoli and that doses of up to 800 kg ha⁻¹ of K₂O reduced the severity of the canker. The susceptibility to a pathogen decreases in the same way that the growth of the plant responds to the increase in the supply of K (Huber, 1994, 2014).

An adequate supply of K promotes the control of plant diseases through the increase in thickness of the cuticle and cell wall, which makes the penetration and the progress of the infection more difficult, contributing to the reduction of the inoculum potential and lessen the accumulation of low molecular weight compounds, which are easily

used by pathogens (HUBER & ARNY, 1985; PERRENOUD, 1990; MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012).

4.3 Phosphorus (P)

The main, but not the only important function of P in plants is related to the transference and accumulation of energy via ATP (adenosine triphosphate). The ATP is a nucleotide supplier of energy necessary for important metabolic pathways, such as photosynthesis, translocation of molecules and the absorption of nutrients (ROBERTS, 1998). The P also participates in many enzymatic reactions such as the metabolism of carbohydrates, and it is essential for the regulation of metabolic pathways in the cytoplasm and chloroplasts, synthesis of starch and sucrose, transport of trioses-phosphate, translocation of sucrose and synthesis of hexoses (MALAVOLTA, 2006).

Although P is involved in the synthesis of a series of organic compounds, for example: phospholipids, DNA (deoxyribonucleic acid) and RNA (ribonucleic acid), and in metabolic processes essentials for the plant, its action in resistance to plant diseases is variable (KIRALY, 1976). Graham (1983) mentions that plants supplied with adequate levels of P overcome diseases more easily, while also avoiding the cell membranes leakage of metabolites for the pathogens attackers.

In fields infected with *S. sclerotiorum*, the application of phosphate fertilizer reduced significantly the incidence of white mold in mustard (CHATTOPADHYAY *et al.*, 2002). In the sunflower it was observed that the application of P in mixtures with humus reduced the incidence of white mold to a third of what was observed in the absence of P, which considerably increased the final seed production (LUKASHEVICH, 1964; POLYAKOV, 1973).

4.4 Calcium (Ca)

Many of the Ca functions in plants are linked to structural arrangement of macromolecules and also with its ability to coordinate and form stable intermolecular links, mainly in the cell wall and plasma membrane. The deficiency of Ca decreases the stability of cell membranes, making them less resistant to diseases (SPRINGER *et al.* 2007). The importance of Ca to control plant disease is also related to

the formation of lignin which is responsible for expanding the physical protection against plant pathogens (SGARBI *et al.*, 2000).

Paula Junior *et al.* (2006) believe that the use of lime or calcium silicate for soil pH correction is a strategy to control the white mold in the common bean, since this nutrient improves the defense mechanisms of the plant and increases tolerance to diseases. Another fact linked to Ca application is that it is present in the majority of the liming materials, and soil pH close to 5.5 is very favorable to the development of white mold (ELGORBAN *et al.*, 2013; ROLLINS & DICKMAN, 2001), and oppressive to the development of most plants.

Zambolim *et al.* (2005) reported that sunflower plants (*Helianthus annuus* L.) deficient in Ca presented the highest percentage of mortality caused by *S. sclerotiorum*. Chrominski *et al.* (1987) observed that in culture medium deficient in Ca the seedlings of pumpkins (*Cucurbita pepo* L.) and sunflower were more susceptible to white mold. Augusto *et al.* (2010) found a positive relationship between deficiency of Ca and occurrence of *S. rolfsii* in two varieties of peanuts in Nicaragua. On the other hand, they also observed that the application of gypsum (CaSO_4) in infected plants did not reduce the injuries caused by the fungus, but increased the production and content of Ca in pods. Similar results in relation to the Ca were also found by Butzler *et al.* (1998).

The Ca in plant affects the incidence and the progress of diseases mainly in two ways: (1) it is a regulator of membrane stability and cell wall, when the level of Ca is low, there is an increase in the flow of low molecular weight compounds in the root apoplast where these compounds are useful to pathogen development; (2) the Ca polygalacturonate in the middle lamella is responsible for the stability of the cell wall, giving mechanical and chemical resistance to the plant cell. Also, many bacteria and fungi plant pathogens invade plants through the production of extracellular pectolytic enzymes which have their activities inhibited by Ca (YAMADA, 2004).

Sugimoto *et al.* (2010) found that areas with great amounts of soil Ca disfavor soybean phytophthora stem rot (*Phytophthora sojae* [Kaufmann & Gerdemann]) incidence. Through scanning electron microscopy of fresh samples the authors showed an increased accumulation of Ca crystals around the cambium and xylem vessels of

the plants treated with Ca. The penetration of the phytophthora stem rot mycelium was inhibited at these sites. The results found by the authors indicated that these crystals play an important role in calcium ion storage and its availability for those tissues to maintain long-term field resistance to soybean phytophthora stem rot.

The resistance to other plant diseases induced by Ca is exemplified in Table 3 below.

Tabela 3. Calcium fertilization effects on plant diseases.

Plant Pathogen	Low Ca	High Ca
<i>Erwinia phytophthora</i>	++++ ¹	+
<i>Rhizoctonia solani</i>	++++	+
<i>Sclerotium rolfsii</i>	++++	++
<i>Fusarium oxysporum</i>	++++	+

1- ++++ = severe disease damage or low disease resistance.

Source: KIRALY (1976).

4.5 Magnesium (Mg)

Magnesium is important to plants and microorganisms which can have direct and indirect effects on the occurrence and development of plant diseases. It is directly related to many metabolic activities in plants and particularly with leaf expansion, where it is important to facilitate the occurrence of infections (TAIZ & ZEIGER, 2013).

This nutrient has a wide spectrum of physiological functions such as component of chlorophyll, transport of substances, cofactor of enzymes and participant in the metabolism of carbohydrates (CADDESI & YAZICI, 2010). However, high rates of Mg interfere in the absorption of Ca, increasing the incidence of diseases such as bacterial spot of tomato or pepper (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*) and rotting in peanut (*Aspergillus niger* Tiegh.) (HUBER & JONES, 2013). In agriculture, its use is appropriate at a ratio of Ca:Mg approximately 4:1 (NOVAIS et al, 2007).

The specific mechanism of defense of plants to diseases under the influence of Mg includes increased resistance of tissues to degradation by enzymes as happens to bacterial soft rot (*Pectobacterium* spp.). The supply of Mg to reduce diseases includes the understanding of balance

with other minerals, such as Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} and Ca^{2+} (MARSCHNER, 2012). In addition to this understanding, according to the same author, the contribution of Mg for the plant resistance varies according to environmental conditions, like soil pH, the productivity of the previous crop (quantity of K extracted from soil), the microbial activity in the rhizosphere, herbicides, and the nutritional status of the soil. Thus, the effect of Mg on the control of disease can be indirectly related to the general health of the plant, or directly related to the physiological function of this particular nutrient.

4.6 Sulfur (S)

The S absorbed by plants is mainly present in the soil organic matter. This S pool together with the humic acids is an important regulator of the soil microbiological activity. It is a nutrient present in several fertilizers, absorbed in the form of sulphates (SO_4^-) and assimilated in organic forms, participates in the process of formation of some amino acids, such as cysteinyl, cystine, methionine and taurine, and it is present in some coenzymes such as the ferredoxin, which is linked to photosynthesis, in addition to being present in virtually all plant proteins (HUBER, 2014).

The deficiency of S causes a change in the process of cell meiosis, an increase in carbohydrate content and a reduction in the synthesis of proteins, which alter the metabolism of the plant and, consequently, its susceptibility to pathogens (PRATES *et al.*, 2006).

The application of S increased the internal concentration of this nutrient, K, and ascorbic acid in plants of pumpkin (*Cucurbita pepo*) growing in saline soils (OSMAN *et al.*, 2014). The increase in concentrations of K and ascorbic acid are important for reducing the severity of diseases in plants. In mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern. and Coss.) the application of 40 kg ha⁻¹ and 120 kg ha⁻¹ of N reduced the incidence of white mold (GUPTA *et al.*, 2004).

4.7 Silicon (Si)

Si is considerably present in many plant species, especially in grasses (COOKE & LEISHMAN, 2011) and executes many important functions in plant defense mechanisms. Recently, Si has awakened

agronomic interest because of its potential as a component of the integrated strategy of plants protection against pests and diseases, and even protection against certain abiotic stresses (DATNOFF & JOSEPH, 2014).

The Si is absorbed by the plant as monosilicic acid, $\text{Si}(\text{OH})_4$ (JONES; HANDRECK, 1967) and its transport is done through the xylem, with its distribution in plants depending on the location of perspiration sites. At perspiration sites there is a formation of a double layer of amorphous silica ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) and cuticle. Silicon is also involved in functions such as adjustment of the plant perspiration rate, with Si acting as a mechanical barrier to water loss. This physical barrier moreover prevents the invasion of bacteria and fungi, and the attack of insects (EPSTEIN, 2009; GUNTZER *et al.*, 2012).

Amorphous silica, therefore, is responsible for providing mechanical protection to plants (YOSHIDA *et al.*, 1962; HAYASAKA *et al.*, 2008; BALAKHNINA & BORKOWSKA, 2013). The fertilization with Si is also responsible for high contents of hemicellulose and lignin in the cell wall (LEE *et al.*, 1990). Si is also known as a messenger for the production and accumulation of compounds in the cell wall, phenolic phytoalexins and peroxidases (REMUS-BOREL *et al.*, 2005; EPSTEIN, 2009; CAI *et al.*, 2009), and as a trigger for biochemical plant defense systems.

In the case of resistance to fungal diseases, protection promoted by Si is the result of several factors, (i) as amorphous silica on plant epidermis; (ii) enhanced control of the cytoplasmic membrane permeability, avoiding the extravasation of cell contents to the intercellular space, and (iii) through a biochemical barrier, which improves the production of phenolic compounds with fungistatic properties. All these positive changes may prevent the development of phytopathological epidemics, as observed by Datnoff *et al.* (1997) in a study of rice blast (*Magnaporthe grisea* Barr) where the treatments containing Si were equivalent to chemical control (fungicides) of this disease. In other cases, the beneficial effects of Si application via soil in soybeans was the delay of 3 to 5 days in the emergence of Asian rust, but only the fertilization with the Si was not enough to contain the disease (LEMES *et al.*, 2011).

Si may have several benefits for the control of pests and diseases, although there are few studies with *S. sclerotiorum*, and it becomes necessary to have more studies to investigate these possible benefits of Si in the management and control of the white mold disease.

4.8 Micronutrients

Micronutrients are catalysts for various enzymatic reactions and are directly involved in the synthesis of many compounds in plants, and they are related with the defense of plants against attack from pathogens (DE & RAI, 2005; DORDAS, 2008).

Some bacterial diseases are inhibited by adequate absorption of copper (Cu), which participates in several physiological processes, such as photosynthesis, respiration, distribution of carbohydrates, reduction of the N fixation and also acts in physical resistance through its participation in the synthesis of lignin in cell wall (GRAHAM & WEBB, 1991; LANDIS & Van STEEINS, 2000; BENCHIMO *et al.*, 2002; DORDAS, 2008). The Cu influences the activity of peroxidase and catalase, which is reduced with high copper content, resulting in the accumulation of peroxides, a substance highly bactericidal, which form the basis of the stimulus caused by the increase of respiration in infected tissues (ZAMBOLIM & VENTURA, 1996; DORDAS, 2008).

Manganese (Mn) plays an important role in photolysis of water and in the evolution of O₂ in reactions of photosynthesis (KIRKBY & RÖMHELD, 2007). Also, plants with Mn deficiency have low lignification, which makes tissues soft and less resistant to disease development. The Mn concentration in plants usually changes when a parasitism happens, however, the direction and magnitude of these effects will depend on plant species and tissue affected. Manganese is present in low concentrations in tissues affected by pathogens and in high concentrations in sites around the infection and in resistant plants (HUBER & WILHELM, 1988). According to Zambolim & Ventura (1996) application of Mn in seed treatment, foliar application, or when added to the soil, helps to reduce the severity of many diseases.

Boron (B) is a micronutrient that acts in the translocation of carbon photoassimilates from the leaves to other plant tissues. Its

deficiency causes tissue cracks in stems, branches, leaves and roots opening windows for the development of opportunistic diseases. The accumulation of photoassimilates in leaves due to low translocation and the occurrence of cracks in the plant tissues accelerate the incidence of diseases (MARCHNER, 2012).

Changes in membrane permeability are characteristic of tissues of diseased plants, regardless of the type of disease or the nature of the pathogen (WHEELER, 1978). Both B and Zn have an important role in the integrity of the cell membranes, preventing the leakage of organic solutes and maintaining cell integrity (YAMADA, 2004). Caddesi *et al.* (1995) showed the drastic effect of deficiency of B in the release of K and organic solutes in sunflower cells (*Helianthus annuus* L.). Comparing leaves with different levels of B, the treatment with lower content presented beyond 35 times more K, 45 times more sucrose and seven times more phenolic compounds and amino acids (Table 4). The authors also observed that after 20 minutes of the treatment with B there was sufficient restoration of the membrane permeability, indicating the particular role of this element in the maintenance of the integrity of plasma membrane.

Table 4. Effect of B supply and its leaf concentration and leakage of K, sucrose, phenolic and amino acids in sunflower leaves (*Helianthus annuus* L.) at the age of 10 days.

B μM	[B] $\mu\text{g g}^{-1}$ DM	Leakage ($\mu\text{g g}^{-1}$ MF 2 h ⁻¹)			
		K ⁺	Sucrose	Phenolics	AA
0,01	4,7	630	900	79	163
0,20	11,8	390	440	72	122
1,00	16,7	52	70	17	33
20,00	37,7	18	20	13	23

DM = dry mass; FM = fresh mass; AA = aminoacids.

Source: Cakmak *et al.* (1995).

Caddesi & Römheld (1997) mention that, despite the rapid and clear effects of B on cellular release of K, the mechanisms by which B would affect the structural integrity and/or function of plasma membranes are still poorly known. Dordas (2008) related the effects of the application of B to disease tolerance as being the effect of this

nutrient in the structuring and stability in the cell wall. However, for the majority of the reports of tolerance to diseases due to application of B, the micronutrients not yet well understood regarding its contribution to the process of resistance.

Boron protective function of the plant has been related to (i) a better structuring of the cell wall, (ii) activity in the metabolism of phenolic compounds and lignin, and (iii) better control of permeability of solutes through the plasma membrane. In the plasma membrane, B has a critical structural role normally associated with glycoproteins (YAMADA, 2004).

Zinc (Zn) is another important nutrient required to maintaining the integrity of the membranes. It participates in several metabolic processes and is a component of several enzymes of the carbohydrate and protein metabolisms, influencing the permeability of membranes and resistance to plant diseases (MARCHNER, 2012). Zinc can bind to phospholipid and sulfhydryl groups at the cell membrane or form tetrahedral complexes with residues of cysteine of the polypeptide chains and thus protect the lipids and proteins of the membranes against oxidative damage (YAMADA, 2004).

The accumulation of soluble carbohydrates in leaves can be associated with a nutritional imbalance set, where an excess of N, or a deficiency of K and Zn creates a favorable condition for the establishment of any plant pathogenic microorganism. In conditions of Zn deficiency there is a considerable increase in the permeability of the cell membrane indicated by great leakage of solutes of low molecular weight (Table 5) and a reduction in the content of phospholipids (CADDESI & MARSCHNER, 1988).

Table 5. Effects of Zn in the exudation of low molecular weight by the roots.

Treatments	Root Exudates (g 6 h ⁻¹ DM)					Phospholipids µg g ⁻¹ FM
	Root Zn µg g ⁻¹	AA µg	Sugars µg	Phenolics µg	K µg	
+ Zn	258	48	375	117	1,68	2.230
- Zn	16	165	751	161	3,66	1.530

AA = aminoacids; DM = dry mass; FM = fresh mass.

Source: Cakmak e Marschner (1988).

For the development of a white mold epidemic, the availability of Zn is essential, because it determines the formation of sclerotia and the mycelial development as reported by See & Le Tourneau (1974). This found indicates that imbalanced fertilizations, as the application of Zn in excess, might favor a white mold epidemic in a crop area.

The functions of iron (Fe) in resistance to disease in plants are not well known. Firstly, Fe availability is linked to the expression of ferritin, which an important iron-stock protein of the plant cell metabolism and crop normal growth. Although, many plant pathogens such as *Fusarium* spp. has high Fe demand, a good Fe availability can be a factor of antifungal activity (DORDAS, 2008).

Calla *et al.* (2014) studied disorders of ferric homeostasis in soybean leaves infected with white mold and found that OA is used to release Fe included in ferritin and absorbs it for its own metabolism. In this case, OA causes a local deficiency of Fe which induces programmed cell death (PCD) of host cells. This lack of Fe paralyzes activity of cytochromes in electron transfer chain. The PCD predisposes the development of fungus *S. sclerotiorum* that is essentially a pathogen saprophyte and a good Fe availability can delay this PCD.

Steadman & Nickerson (1975) found that micronutrients such as Fe, Ni, Cu, and Mn, when applied in nutrient medium, presented a control of *S. sclerotiorum* similar to compounds of fungicides such as Benomyl. In sunflower crops, the application of micronutrients and lime (CaCO_3) significantly increased tolerance to white mold (KOCHENKOVA & POLYAKOV, 1971). The micronutrients exercise the following functions in plant defense: the Cu, B and Mn influence the synthesis of lignin and simple phenols (GRAHAM *et al.*, 1997); Zn, Fe and Ni has effects related to the synthesis of phytoalexins.

About the effects of other micronutrients related to the resistance to white mold the studies are scarce, suggesting that more research is needed to improve the knowledge about plant micronutrient nutrition and white mold development. Other factors like environmental conditions, host susceptibility and their interactions, are critical factors to an aggressive pathogen such as the fungus *S. sclerotiorum*, however these factors influence on white mold development is dependent on the plant nutritional status.

5. Final considerations

Nutrients can reduce the incidence of diseases in certain cases or raise them in others, depending on the specific mineral nutrient, the plant host, the plant pathogen, the environment, and the interactions among them. The proper nutrition of plants involves the knowledge of numerous physical, chemical, biological and environmental properties, leading to maximum advantage and adequate nutrient management. The appropriate use of nutrients is critical to ensure better crop yields and reduce the damage associated to plant diseases.

A key factor to ensure the health plants is to provide to plant development a well balanced nutrition throughout the crop cycle with no nutritional imbalances.

The application of such knowledge is an additional tool to mitigate the negative impact of pesticides, contributing to reduce the environmental impact of the agriculture. There is still much to know about this multidisciplinary subject. There is a need for joint investigations between the phytopathologists and the soil/plant nutrition scientists, for an appropriate management of mineral nutrition of cultivated plant species.

Currently, there is a big difference between the promising results obtained in controlled conditions (glasshouse experiments) and those commonly used in agricultural practices of major crops in field. It is expected that the facts and discussions presented here can add knowledge to the readers about the beneficial effects of a balanced mineral nutrition to reduce the incidence and severity of plant diseases like white mold.

7. Bibliographical references

- Abawi, G.S.; Polach, F.J.; Molin, W.T. 1975. Infection of bean by ascospores of *Whetzelinia sclerotiorum*. *Phytopathology*, 65:673-678.
- Agrios, G.N. 2008. *Fitopatologia*. 5^a ed. Elsevier Academic. Press. 948 p.
- Ali Abro, A.M.; Syed, R.N.; Yasmin, A.; Abro, S.; Kumar, A.; Nicot, P.C. 2014. Different nitrogen fertilization regimes influences the susceptibility of lettuce plants to *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum*. *Science International*, 26:1-31.

- Amtmann, A.; Troufflard, S.; Armengaud, P. 2008. The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiologiae Plantarum*, 133:682-691.
- Augusto, J.; Brenneman, T.B.; Csinos, A.S. 2010. Etiology of peanut pod rot in Nicaragua: I. The effect of pod size, calcium, fungicide, and nematicide. *Plant Health Progress*, doi: 10.1094/PHP-2010-0215-01-RS.
- Bairwa, S.K.; Godara, S.L.; Meena, S.; Jatav, N.K.; Bairwa, R.C. 2014. Effects of fertilizers and soil amendments on the incidence of *Sclerotinia* stem rot in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *African Journal of Microbiology Research*, 8(42):3650-3655. DOI: 10.5897/AJMR2014.7021
- Balakhnina, T.; Borkowska, A. 2013. Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: review. *International Agrophysics*, 27:225-232.
- Barbosa, F.R.; Gonzaga, A.C.O. 2012. Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 247 p.
- Bardin, S.D.; Huang, H. C. 2001. Research on biology and control of *Sclerotinia* diseases in Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 23:88-98.
- Belan, L.L., Pozza, E.A., Freitas, M.L.d.; de Abreu, M.S.; Alves, E. 2015. Nutrients distribution in diseased coffee leaf tissue. *Australasian Plant Pathology*, 44:105-111. doi: 10.1007/s13313-014-0329-0
- Benchimol, R.L.; Viégas, I.J.M., Carvalho, J.G. 2002. Micronutrient contents in healthy and *Crinipellis pernicioso*, infected tissues of *Theobroma grandiflorum*. *Revista das Ciências Agrárias*, 37:171-174.
- Boland, G.J.; Hall, R. 1994. Index of plant hosts of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 16:93-108.
- Bolton, M.D.; Thomma, B.P.H.J.; Nelson, B.D. 2006. *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary: biology and molecular traits of a cosmopolitan pathogen. *Molecular Plant Pathology*, 7(1):1-16.

Borkert, C. M.; França Neto, J. de B.; Henning, A.A. 1985. Potassium fertilization reduces seed infection by *Phomopsis* sp. and improves seed quality. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACIÓN EN SOJA, 4, 1989. Buenos Aires. *Actas...* Buenos Aires: Asociación Argentina de la Soja, 1989. 5:2265-2275.

Buffara, C.R.S.; Angelotti, F.; Tessmann, D.J.; Souza, C.D. de; Vida, J. B. 2013. Atividade de fosfito de potássio na pré e pós-infecção de *Phakopsora euvitidis* em folhas de videira. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(6):3333-3340.

Butzler, T.M.; Bailey, J.; Beute, M.K. 1998. Integrated management of Sclerotinia blight in peanut: Utilizing canopy morphology, mechanical pruning, and fungicide timing. *Plant Disease* 82:1312-1318.

Cai, H.M.; Zhou, Y.; Xiao, J.H.; Li, X.H.; Zhang, Q.F.; Lian, X.M. 2009. Overexpressed glutamine synthetase gene modifies nitrogen metabolism and abiotic stress responses in rice. *Plant Cell Reports*, 28:527-537.

Cakmak, I.; Kurze, H.; Marschner, H. 1995. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. *Physiol. Plant*, 95:11-18.

Cakmak, I.; Marschner, H. 1988. Increase in membrane permeability and exudation of roots of zinc deficient plants. *J. Plant Physiol.* 132:356-361

Cakmak, I.; Römheld, V. 1997. Boron deficiency-induced impairment of cellular functions in plants. *Plant Soil*, 193:71-83.

Cakmak, I.; Yazici, A. 2010. Magnesium: a forgotten element in crop production. *Better Crops*, 94:23-25.

Calla, B.; Blahut-Beatty, L.; Koziol, L.; Simmonds, D.H.; Clough, S.J. 2014. Transcriptome analyses suggest a disturbance of iron homeostasis in soybean leaves during white mould disease establishment. *Molecular Plant Pathology*, 15(6):576-588.

Carmona, M.; Sautua; F. 2011. Os fosfitos no manejo de doenças nas culturas extensivas. *Revista Plantio Direto, Passo Fundo*, p. 19-22.

- Celar, F. 2003. Competition for ammonium and nitrate forms of nitrogen between some phytopathogenic and antagonistic soil fungi. *Biologic Control*, 28:19-24.
- Cessna, S.G.; Sears, V.E.; Dickman, M.B.; Low, P.S. 2000. Oxalic acid, a pathogenicity factor for *Sclerotinia sclerotiorum*, suppresses the oxidative burst of the host plant. *Plant Cell*, 12:2191-2199.
- Chattopadhyay, C.; Meena, P.D.; Kumar, S. 2002. Management of *Sclerotinia* rot of Indian mustard using ecofriendly strategies. *Journal of Mycology and Plant Pathology*, 32:194-200.
- Chitarra, L.G. 2007. Identificação e Controle das Principais Doenças do Algodoeiro. Campina Grande: Embrapa Algodão, 65 p.
- Chrominski, A.; Abia, J.A.; Smith, B.N. 1987. Calcium deficiency and gibberellic acid enhance susceptibility of pumpkin and sunflower seedlings to *Sclerotinia sclerotiorum* infection. *Journal of Plant Nutrition*, 10(17):2181-2193.
- Clarkson, J.P.; Fawcett, L.; Anthony, S.G.; Young, C. 2014. A model for *Sclerotinia sclerotiorum* infection and disease development in lettuce, based on the effects of temperature, relative humidity and ascospore density. *PLoS ONE* 9(4):e94049. doi:10.1371/journal.pone.0094049
- Clarkson, J.P.; Staveley, J.; Phelps, K.; Young, C.S.; Whipps, J.M. 2003. Ascospores release and survival in *Sclerotinia sclerotiorum*. *Mycological Research*, 107:213-222.
- Coley-Smith, J.R.; Cooke, R.C. 1971. Survival and germination of fungal sclerotia. *Annual Review of Phytopathology*, 9:65-92.
- Cooke, J.; Leishman, M.R. 2011. Is plant ecology more siliceous than we realize? *Trends Plant Sci.* 16:61-68.
- Couper, G. 2001. The biology, epidemiology and control of *Sclerotinia sclerotiorum* on carrots in North East Scotland. Ph.D. thesis, University of Aberdeen. Aberdeen, Scotland, UK.
- Crusciol, C.A.C.; Cottica, R.L.; Lima, E.V.; Andreotti, M.; Moro, E.; Marcon, E. 2005. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(2):161-168.

Datnoff, L.E.; Deren, C.W.; Snyder, G.H. 1997. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. *Crop Protection*, London, 16(6):525-531.

Datnoff, L.E.; Elmer, W.E.; Huber, D.M. (eds.). 2007. *Mineral Nutrition and Plant Disease*. APS Press, St. Paul, MN. 278 p.

Datnoff, L.E.; Joseph, R.H. 2014. 16th World Fertilizer Congress of CIEC. Rio de Janeiro. 435 p.

De, N.; Rai, M. 2005. Micronutrient disorders and management in vegetable crops: A Review. *Vegetable Science*, 32(1):1-10.

Divon, H.H.; Fluhr, R. 2007. Nutrition acquisition strategies during fungal infection of plants. *FEMS Microbiology Letters*, 266:65-74.

Dordas, C. 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag (Germany), 28(1):33-46.

Duarte, H. da S.S.; Pádua, J.G. de; Zambolim, L.; Lopes, C.A.; Carmo, E.L. do. 2008. Sarna comum da batateira (*Streptomyces* spp.) Minas Gerais: EPAMIG, Circular Técnica, 31. 3 p.

Elgorban, A.M.; Elsheshtawi, M.; Al-Sum, B.A.; Bahkali, A.H. 2013. Factors affecting on *Sclerotinia sclerotiorum* isolated from beans growing in Ismailia, Egypt. *Life Science Journal*, 10(4):1278:1282.

Epstein, E. 2009. Silicon: its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology* 155:155-160.

Esker, P.; Peltier, A.; Bradley, C.; Chilvers, M.; Malvick, D.; Wise, K.; Mueller, D.; Sisson, A. 2011. Management of White Mold in Soybean related by NCSRP - North Central soybean research program. 118 p.

Everaarts, A.P.; Willigen, P. 1999. The effects of the rate and method of nitrogen application on nitrogen uptake and utilization by broccoli. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 47:201-214.

Fischer, I.H.; Martins, M.C.; Lourenço, S.A.; Kimati, H. 2005. Efeito de fertilizantes e fungicidas na incidência da sarna da batata. *Summa Fitopatológica*, Botucatu, 31(3):263-266.

- França Neto, J. de B.; Costa, N.P. da; Henning, A.A.; Palhano, J.B.; Sfredo, G.J.; Borkert, C.M. 1985. Efeito de doses e métodos de aplicação de cloreto de potássio sobre a qualidade da semente de soja. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja Resultados de pesquisa de soja 1984/85. Londrina, 1985. p. 294-301. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 15).
- Freitas, A.S.; Pozza, E.A.; Alves, M.C.; Coelho, G.; Rocha, H.S.; Pozza, A.A.A. 2016. Spatial distribution of Yellow Sigatoka Leaf Spot correlated with soil fertility and plant nutrition. *Precision Agriculture*, 17(1):93-107.
- Furlan, S. H. 2015. Mofo branco. In: LEMES, E. M.; CASTRO, L. H. S.; ASSIS, R. T. (Org.). Doenças da soja: Melhoramento genético e técnica de manejo. Campinas: Millennium, 2015. p. 53-72.
- Garcia Junior, D. 2002. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em função de doses de potássio e cálcio em solução nutritiva. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras - UFLA. 215 p.
- Gharieb, M.M.; Gadd, G.M. 1999. Influence of nitrogen source on the solubilization of natural gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) and the formation of calcium oxalate by different oxalic and citric acid-producing fungi. *Mycological Research*, 103:473-481.
- Gorbani, R; Wilcoxon, S.; Koocheki, A; Leifert, C. 2008. Soil management for sustainable crop disease control: a review. *Environmental Chemistry Lett*, 6:149-162.
- Görge, C.A.; Silveira Neto, A.N.; Carneiro, L.C.; Ragagnin, V.A.; Lobo Jr, M. 2009. Controle do mofo-branco com palhada e *Trichoderma harzianum* 1306 em soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 44(12):1583-1590.
- Graham, R.D. 1983. Effect of nutrient stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to the trace elements. *Advances in Botanical Research*, 10:221-276.
- Graham, R.D.; Senadhira, D.; Ortiz-Monasterio, I. 1997. A strategy for breeding for staple-food crops with high micronutrient density. *Soil Science and Plant Nutrition*, 43:1153-1157.

Graham, R.D.; Webb, M.J. 1991. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: Mortvedt, J.J.; Cox, F.R.; Shuman, L.M.; Welch, R.M. (Eds.). Micronutrients in agriculture. 2 ed. Madison : Soil Science Society of America 1991. p. 329–370 (Soil Science Society of America. Book Series, 4).

Grogan, R.G. 1979. *Sclerotinia* species: summary and comments on needed research. *Phytopathology*, 69:908-910.

Guntzer, F.; Keller, C.; Meunier, J. 2012. Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 32, 201–213.

Gupta, R.; Awasthi, R.P.; Kolte, S.J. 2004. Effect of nitrogen and sulphur on incidence of *Sclerotinia* rot of mustard. *Indian Phytopathology*, 57:193-194.

Harris, G. 2001. Deficiências de potássio em algodoeiro relacionada à mancha foliar. *Informações Agronômicas*, 96:1-2.

Hayasaka, T.; Fujii, H.; Ishiguro, K. 2008. The role of silicon in preventing appressorial penetration by the rice blast fungus. *Phytopathology*, 98(9):1038-1044.

Huber, D.M. 1994. The influence of mineral nutrition on vegetable diseases. *Horticultura Brasileira*, 12:206-214.

Huber, D.M. 2002. Relationship between mineral nutrition of plants and disease incidence. In: Workshop Relação entre nutrição de plantas e incidência de doenças. Piracicaba, Potafos, Anais e Vídeo, vídeo 01. CD-ROM.

Huber, D.M. 2014. Relationship between mineral nutrition of plants and disease incidence. Available at: <[http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/25dd770a7fa6689c83257b090060759d/\\$FILE/Palestra%20Don%20Huber.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/25dd770a7fa6689c83257b090060759d/$FILE/Palestra%20Don%20Huber.pdf)>. Assessed on 21/12/2014.

Huber, D.M.; Arny, D.C. 1985. Interactions of potassium with plant disease. In: Munson, R.D. Ed. Potassium in agriculture. Madison, ASA, CSSA, SSA. p. 467-488.

- Huber, D.M.; Graham, R.D. 1999. The role of nutrition in crop resistance and tolerance to disease. In: Rengel Z. (ed.), Mineral nutrition of crops fundamental mechanisms and implications. Food Product Press, New York. pp. 205-226.
- Huber, D.M.; Jones, J.B. 2013. The role of magnesium in plant disease. *Plant and Soil*, 368:73-85.
- Huber, D.M.; Thompson, I.A. 2007. Nitrogen and plant disease. p. 31-44. In: Datnoff, Elmer and Huber (eds.). 2007. Mineral Nutrition and Plant Disease. APS Press, St. Paul, MN.
- Huber, D.M.; Wilhelm, N.S. 1988. The role of manganese in resistance to plant disease. In: Graham, R.D.; Hannam, R.J.; Uren, N.C. (Ed.). Manganese in soils and plants. Dordrecht: Kluwer Academic. p. 155-173.
- Jeandet, P. 2015. Phytoalexins: Current Progress and Future Prospects. *Molecules*, 20:2770-2774.
- Jones, J.H.; Handreck, K.A. 1967. Silica in soils, plants, and animals. *Advances in Agronomy*, 19:107-149.
- Kiraly, Z. 1976. Plant disease resistance as influenced by biochemical effects of nutrients in fertilizers. In Proceedings of the IPI 12 th Colloquium on: Fertilizer Use and Plant Health, held at Izmir, Turkey, 1976. International Potash Institute, Bern, Switzerland. p. 33-46.
- Kirkby, E.A.; Römheld, V. 2007. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. Tradução: Suzana Oellers Ferreira. Encarte Técnico. Informações Agrônomicas nº 118. 24 p.
- Kluthcouski, J.; Stone, L.F.; Aidar, H. 2003. Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 570 p.
- Kochenkova, K.G.; Polyakov, P. V. 1971. The effect of fertilizers on infection of sunflower by white rot. *Review of Plant Pathology*, 50:2414 (Abstr.).
- Landis, T.D.; van Steenis, E. 2000. Micronutrients: copper. *Tree Plant Notes*, 49(3):44-48.
- Le Tourneau, D. 1979. Morphology, cytology and physiology of *Sclerotinia* species in culture. *Phytopathology*, 69:887-890.

Lecompte, F.; Abro, M.A.; Nicot, P.C. 2013. Can plant sugars mediate the effect of nitrogen fertilization on lettuce susceptibility to two necrotrophic pathogens: *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum*? *Plant and Soil*, 369:387-401.

Lee, T.S.; Kwon, T.O.; Park, K.H. 1990. Influence of nitrogen and silicon on the yield and the lodging related traits of paddy rice. *Soil and Fertility*, 32:15-23.

Leite, R.M.V.B. de C. 2005. Ocorrência de doenças causadas por *Sclerotinia sclerotiorum* em girassol e soja. Embrapa Comunicado técnico 76, março, 2005. Londrina, PR.

Lemes, E.M.; Mackowiak, C.L.; Blount, A.; Marois, J.J.; Wright, D.L.; Coelho, L.; Datnoff, L.E. 2011. Effects of silicon applications on soybean rust development under greenhouse and field conditions. *Plant Disease*, 95:317-324.

Lukashevich, A.I. 1964. White rot of sunflower and the foundation of methods for its control. *Review of Plant Pathology*, 43:3288.

Machado, L.A.Z.; Assis, P.G.G. de. 2010. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 45(4):415-422.

Malavolta, E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Ceres. 638 p.

Marcelo, A.V.; Corá, J.E.; Fernandes, C.; Martins, M.R.; Jorge, R.F. 2009. Crop sequences in no-tillage system: effects on soil fertility and soybean, maize and rice yield. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(2):417-428.

Marciano, P.; DiLenna, P.; Magro, P. 1983. Oxalic acid, cell wall degrading enzymes and pH in pathogenesis and their significance in the virulence of two *Sclerotinia sclerotiorum* isolates on sunflower. *Physiological Plant Pathology*, 22:339-345.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2 ed. Academic Press, London. 889 p.

Marschner, H. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3 ed. Academic, London. 651 p.

- Marukawa, S.; Funakawa, S.; Satomura, Y. 1975. Some physical and chemical factors on formation of sclerotia in *Sclerotinia libertiana* Fuckel. Agricultural and Biological Chemistry, 39:463-468.
- Monteiro, F.P.; Pacheco, L. P.; Lorenzetti, E. R. ; Armesto, C.; Souza, P.E.; Abreu, M.S. 2012. Substrates and cover crop residues on the suppression of sclerotia and carpogenic germination of *Sclerotinia sclerotiorum*. Comunicata Scientiae (Online), 3:199-205.
- Moretini, A.; Melo, I.S. 2007. Formulação do fungo *Coniothyrium minitans* para controle do mofo branco causado por *Sclerotinia sclerotiorum*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 42:155-161.
- Mwangi, E.S.K.; Gatebe, E.G.; Ndungu, M.W. 2012. Impact of nutritional (C:N ratio and source) on growth, oxalate accumulation, and culture pH by *Sclerotinia sclerotiorum*. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, 2(10):2224-3208.
- Neves, J.S.; Blum, L.E.B. 2014. Influência de fungicidas e fosfito de potássio no controle da ferrugem asiática e na produtividade da soja. Revista Caatinga (UFERSA. Impresso), 27:75-82.
- Newton, H.C.; Sequeira, L. 1972. Ascospores as the primary infective propagule of *Sclerotinia sclerotiorum* in Wisconsin. Plant Disease orts 56:798-802.
- Novais, R.F.; Alvarez, V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. (eds.). 2007. Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 1017 p.
- Oliveira, S.H.F. 2005. Manejo do mofo branco. Revista DBO Agrotecnologia, Ano 2 - nº 4 - Maio/Junho.
- Osman, A.S.; Rady, M.M. 2014. Exogenously applied sulphur and ascorbic acid positively altered their endogenous concentrations, and increased growth and yield in *Cucurbita pepo* L. plants grown on a newly-reclaimed saline soil. Journal of Biotechnological Sciences, 2(1):1-9.
- Paula Júnior, T.J.; Vieira, R.F.; Lobo Jr, M.; Morandi, M.A.B.; Carneiro, J.E.S.; Zambolim, L. 2006. Manejo integrado do mofo-branco do feijoeiro. Viçosa, MG: Epamig, 48p

Pavlista, A.D. 2005. Early-season applications of sulfur fertilizers increase potato yield and reduce tuber defects. *Agronomy Journal*, Madison, 97:599-603.

Peltier, A.J.; Bradley, C.A.; Chilvers, M.I.; Malvick, D.K.; Mueller, D.S.; Wise, K.A.; Esker, P.D. 2012. Biology, yield loss and control of *Sclerotinia* stem rot of soybean. *Journal of Integrated Pest Management*, Annapolis, 3(2):1-7.

Pereira, F.S.; Borges, L.P.; Guimarães, G.R.; Silva, A.; Gonsalves, R.N.; Teixeira, I.R. 2013. Estratégias de controle de mofo branco do feijoeiro. *Enciclopédia Biosfera*, 9:2159-2174.

Perrenoud, S. 1990. Potassium and plant health, 2 ed. Bern, International Potash Institute. 363p.

Polyakov, P. 1973. White rot of sunflower caused by *Sclerotinia sclerotiorum* (de Bary) Fekl. *Review of Plant Pathology*, 52:473 (Abstr.).

Pozza, A.A.A.; Martinez, H.; Caixeta, S.L.; Cardoso, A.A.; Zambolim, L.; Pozza, E.A. 2001. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro. *PAB – Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36: 53-60.

Prates, H.S.; Lavres Júnior, J.; Moraes, M.F. 2006. O enxofre como nutriente e agente contra pragas e doenças. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, 115:8-9.

Purdy, L. 1958. Some factors affecting penetration and infection by *Sclerotinia sclerotiorum*. *Phytopathology* 58:605-609.

Purdy, L.H.; Grogan, R. L. 1954. Physiological studies of *Sclerotinia sclerotiorum* in liquid and agar culture. *Phytopathology*, 44:36-38.

Rai, R.A.; Agnihotri, J.P. 1971. Influence of nutrition and pH on growth and sclerotia formation of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary from *Gaillardia pulchella* Foug. *Mycopathologia*, 43:89-95.

Rémus-Borel, W.; Menzies, J.; Bélanger, R.R. 2005. Silicon induces antifungal compounds in powdery mildew-infected wheat. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 66:108-115.

Roberts, T.L. 1998. O fósforo pode melhorar a resistência dos cereais às doenças. *Informações Agronômicas*, 83:1-3.

- Rollins, J.A.; Dickman, M.B. 2001. pH signaling in *Sclerotinia sclerotiorum*: Identification of a pacC/RIMI homolog. Applied and Environmental Microbiology, 67:75-81.
- Saharan, G.S.; Mehta, N. 2008. Sclerotinia diseases of crop plants biology, ecology and disease management. Dordrecht ; London: Springer, 548 p.
- Santos, G.R.; Gama, F.R.; Gonçalves, C.G.; Rodrigues, A.C.; Leão, E.U.; Cardon, C.H.; Bonifacio, A. 2013. Severidade de doenças foliares e produtividade de genótipos de milho em resposta à adubação nitrogenada. Revista Ceres, 60(4):505-513.
- Seabra Júnior, S.; Paixão, G.S.; Maringoni, A.C.; Goto, R; Camara, R.C. 2008. Reação de híbridos de brócolis ‘tipo cabeça única’ à podridão negra. Summa Phytopathologica 34:76-77.
- Sedun, F.S.; Brown, J.F. 1987. Infection of sunflower leaves by ascospores of *Sclerotinia sclerotiorum*. Annals of Applied Biology 110:275-285. doi: 10.1111/j.1744-7348.1987.tb03257.x
- Sgarbi, E; Silveira, L.V.A.; Brito, J.O. 2000. Características químicas e físicas e dimensões das fibras da madeira juvenil do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, cultivado na omissão de macronutrientes e boro em solução nutritiva. Revista árvore, 24(3):323-331.
- Sharma, P. D. Plant pathology. Rastogi Pub. 2013. 468 p.
- Silva, O.C.; Santos, H.A.A.; Dalla Pria, M.; Maye Mio, L.L. 2011. Potassium phosphite for control of downy mildew of soybean. Crop Protection, 30:598-604.
- Silva-Júnior, A.A. 1986. Adubação mineral e orgânica em repolho III. Qualidade comercial e ocorrência de *X. campestris* pv. *Campestris*. Horticultura Brasileira, 4:10-12.
- Springer, Y.P.; Hardcastle, B.A.; Gilbert, S.G. 2007. Soil calcium and plant disease in serpentine ecosystems: a test of the pathogen refuge hypothesis. O Ecology, 151:10-21.
- Steadman, J.R. 1979. Control of plant diseases caused by *Sclerotinia* species. Phytopathology, 69:904-907.

Steadman, J.R.; Nickerson, K.W. 1975. Differential inhibition of sclerotial germination in *Whetzelinia sclerotiorum*. *Mycopathologia*, 57:165-170.

Sugimoto, T.; Watanabe, K.; Furiki, M.; Yoshida, S.; Aino, M.; Kanto, T.; Irie, K. 2009. The effect of potassium nitrate on the reduction of Phytophthora stem rot disease of soybeans, the growth rate and zoospore release of *Phytophthora sojae*. *Journal of Phytopathology*, 157:379-389.

Sugimoto, T.; Watanabe, K.; Yoshida, S.; Aino, M.; Furiki, M.; Shiono, M.; Matoh, T.; Biggs, A.R. 2010. Field application of calcium to reduce Phytophthora stem rot of soybean, and calcium distribution in plants. *Plant Disease*, 94:812-819.

Taiz, L.; Zeiger, E. 2013. *Fisiologia vegetal*. 5 ed. Porto Alegre: Artmed. 918 p.

Tao, L.; ShengXi, Z.; Li, Z.; RiXia, L.; Yan Yi; WeiJun, Z. 2009. The relationship between soil fertility and *Sclerotium rolfsii* of *Houttuynia cordata*. *Journal of Human Agricultural University*, 35 (3):317-319.

Toledo-Souza, E.D. de; Silveira, P.M. da; Lobo Jr, M.; Café Filho, S.C. 2008. Sistemas de cultivo, sucessões de culturas, densidade do solo e sobrevivência de patógenos de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43:971-978.

Trevethick, J.; Cooke, R.C. 1973. Non nutritional factors influencing sclerotia formation in some *Sclerotinia* and *Sclerotium* species. *Transactions of the British Mycological Society*, 60:559-566.

Vega, R.R.; Le Tourneau, D. 1974. The effect of zinc on the growth and sclerotial formation of *Whetzelinia sclerotiorum*. *Mycologia*, 66:256-264.

Wallace, S.U.; Blanchet, R.; Bounlols, A.; Gelfi, N. 1990. Influence of nitrogen fertilization on morphological development of indeterminate and determinate soybeans. *Journal of Plant Nutrition*, 13:1523-1537.

Wheeler, H. 1978. Disease alteration in permeability and membranes. In *Plant Disease: An advanced treatise*. Ed Horsfall, J.G.; Cowling, E.B. Vol.III Academic Press Inc, New York. p. 327-347.

Willetts, H.J.; Wong, J.A.L. 1980. The biology of *Sclerotinia sclerotiorum*, *S. trifoliorum* and *S. minor* with emphasis on specific nomenclature. The Botanical Review, 46: 101-165.

Yamada, T. 2004. Resistência de Plantas às Pragas e Doenças: pode ser afetada pelo manejo da cultura? Informações Agronômicas, 108:1-7.

Yoshida, S.; Ohnishi, Y.; Kitagishi, K. 1962. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. Soil Science and Plant Nutrition, 8:107-113.

Zambolim, L.; Costa, H.; Vale, F.X.R. 2005. Nutrição mineral e patógenos radiculares. In: Michereff, S.J.; Andrade, D.E.G.T.; Menezes, M. (Eds.) Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais. Recife, Brasil. Imprensa Universitária da Universidade Federal Rural de Pernambuco. p. 153-181.

Zambolin, L.; Ventura, J.A. 1996. Resistência a doenças induzida pela nutrição mineral das plantas. In: Revisões anuais de patologia de plantas, 1:275-309.

EDUARDO PECORALI LEITE

Sócio e Gestor na Agro Atual Insumos Agropecuários LTDA. Médico Veterinário, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da USP, MBA em Gestão Estratégica com foco em Agribusiness pela Fundação Getúlio Vargas.

1. Introdução

Define-se como silagem, o produto oriundo da conservação de forragens úmidas (planta inteira) ou de grãos de cereais com alta umidade (grão úmido) ou da espiga (Earlage), através da fermentação em meio anaeróbico, ou seja, em ambiente isento de oxigênio, em locais denominados silos.

O processo de fermentação na produção da silagem possui 5 fases: Aeróbia; Transição aeróbia-anaeróbia; Anaeróbia; Rumo a estabilização e Estabilização da massa.

A fase Aeróbia corresponde ao primeiro dia do processo, a qual se inicia com o recebimento e acomodação da massa verde picada no silo, na qual as células vegetais continuam com uma intensa respiração, consumindo altos níveis de oxigênio e carboidratos solúveis e produzindo grandes quantidades de água e gás carbônico. Nesta fase tem-se uma elevação da temperatura para níveis acima de 50°C, ocorrendo degradação de proteína bruta, degradação de açúcares, perda de matéria-seca e de energia bruta.

A fase de Transição Aeróbia-Anaeróbia ocorre do segundo ao quarto dia da ensilagem, momento no qual tem início a produção de ácido acético pelas bactérias entero-fermentativas, as quais são resistentes ao calor remanescente da fase anterior e essa produção faz com que o pH da massa ensilada seja reduzido de 6,0 para 4,2.

MacDonald (1991) mostra que há diferentes tipos de fermentação que podem ocorrer no processo de ensilagem, levando a produção de diferentes tipos de ácidos que não o ácido lático desejado, pois ele leva à queda nos níveis de pH sem perda de matéria seca e com mínima perda de energia, como mostrado na tabela 1.

Tabela 1: Vias de produção dos principais ácidos orgânicos e estimativa de perda de MS e de energia em decorrência dos diferentes tipos de fermentação (Adaptado de MacDonald, 1991)

Tipo de Fermentação	Ácido Formado	Perdas de MS (%)	Perdas de Energia (%)
Lática	Lático	0,0	0,7
<i>Enterobacteriana</i>	Acético	41,1	16,6
<i>Clostridiana</i>	Butírico	51,1	18,4
<i>Leveduras</i>	-	48,9	0,2

A fase Anaeróbia começa no terceiro dia e se encerra no décimo dia após a ensilagem. Nesta fase tem início a produção de ácido lático e etanol e a diminuição da ação das enterobactérias, produtoras de ácido acético.

No décimo primeiro dia, tem-se o início da fase Rumo a estabilização, a qual se estende até o vigésimo dia, com plena produção de ácido lático, fazendo com que o pH da massa ensilada seja decrescido para valores inferiores a 4,0 e a temperatura desta acompanhe a do ambiente. Durante esta fase, a população de bactérias lácticas e acéticas diminuem gradativamente e o processo fermentativo é finalizado.

Com a finalização do processo fermentativo tem início a quinta e última fase, a Estabilização da massa, a qual começa no vigésimo primeiro dia com a diminuição da ação das bactérias lácticas e posterior estabilização do processo de ensilagem.

2. Planejamento para produção de silagem com qualidade

Para produzir uma silagem de qualidade, é fundamental o planejamento de todas as etapas de sua produção, as quais estão interconectadas umas às outras, tendo efeitos positivos e negativos ao processo como um todo, de acordo com sua execução.

2.1. Escolha da Cultura/Híbrido

O planejamento começa definindo a finalidade do uso da silagem que será produzida, por exemplo, será utilizada para gado de corte ou de leite, confinamento ou suplementação a pasto. Segue-se qual a área disponível para plantio? Vai-se precisar de uma cultura ou híbrido de maior ou de menor produção por hectare? Será que o custo tem

viabilidade econômica? Qual o tempo que disponível para a colheita desta lavoura? Deve-se buscar uma cultura ou híbrido mais precoce? Qual o tipo de solo? Qual o clima e época do ano? Deve-se utilizar um híbrido de maior tecnologia, por exemplo com maior resistência a ataque de pragas e doenças?

Todas estas perguntas devem ser respondidas antes da escolha da cultura e do híbrido que será utilizado, uma vez que obtêm-se diferentes produções e resultados financeiros conforme se ajusta a cultura e híbridos utilizados às condições que a que serão expostas.

Do custo total de produção de uma silagem de milho, em torno de 7% é referente ao custo com a semente e a escolha do híbrido correto pode levar ao aumento da produtividade/ha e, conseqüentemente, um menor custo por tonelada do produto final. Por exemplo, se na apuração dos custos de uma lavoura de milho chegarmos ao custo por hectare de R\$ 3.200,00 e considerarmos uma silagem com 30% de matéria seca, se conseguirmos uma produtividade de 27,5 toneladas por hectare, chegamos a um custo por tonelada de silagem de R\$ 118,50. Por outro lado, se devido a escolha do híbrido correto para as condições da lavoura, optando pela escolha de um híbrido de maior produtividade ou com melhor tecnologia, evitando maiores perdas por doenças e pragas, atingirmos a produtividade de 38 toneladas por hectare, o nosso custo por tonelada de silagem de milho cai para R\$ 84,00, o que provavelmente irá impactar positivamente o custo de produção de atividades posteriores e, conseqüentemente, aumentar o lucro do produtor.

Quando analisamos híbridos de milho para a produção de silagem, é importante buscarmos híbridos que produzam plantas com boa digestibilidade da fibra, ou seja, com baixos índices de FDN e FDA, sanidade foliar e de colmo, alta produtividade de grãos, grãos com alta concentração de amido, produzindo silagem de altos índices de NDT e que propiciem maior consumo de matéria seca.

2.2 Plantio

O primeiro ponto que devemos definir no planejamento do plantio deve ser o seu escalonamento, o qual tem como seu fator limitante a colheita, uma vez que se acelerarmos o plantio e não

tivermos estrutura suficiente para a colheita, perdemos a janela ideal de colheita. Desta forma, é fundamental definirmos a estrutura que teremos para a colheita e em que tempo seremos capazes de realizá-la, para depois definirmos quanto tempo levaremos para plantar a lavoura.

O espaçamento entre linhas utilizado é de 45 e 50 cm.

Outro ponto que devemos observar é a densidade do plantio, pois com o aumento do número de plantas por hectare, ocorre a diminuição da digestibilidade da silagem de milho, uma vez que esta afeta a proporção entre as partes das plantas (espiga, colmos e folhas).

Resultados de pesquisas mostram que os percentuais de colmo crescem quando ocorre aumento na população de plantas/hectare. Considerando que a maior concentração de fibra (FDN) está presente no colmo, o aumento da população de plantas propiciará maior porcentagem de colmos e resultará em menor digestibilidade e consumo do material produzido.

Nas adubações de plantio e de cobertura, precisamos observar um bom suprimento de nitrogênio e de potássio.

2.3 Colheita

Como comentado anteriormente, o escalonamento de plantio e de colheita dependem um do outro e estes devem ser definidos buscando uma janela de colheita da massa verde com uma matéria seca variando entre 32% e 38%.

O ponto de colheita ideal ainda é determinado por muitos produtores pela “linha do leite”, a qual é uma linha definida no grão de milho ao longo de sua maturação pelo acúmulo de amido, sendo definido como ponto ideal a linha do leite da metade do grão até 2/3 do mesmo, o que indicaria teores de matéria seca (MS) entre 32% e 38%, o qual seria o estágio “farináceo-duro”. Entretanto, a aferição do teor de matéria seca da planta, torna o processo mais confiável e exato. Essa aferição pode ser realizada por análise laboratorial, pela utilização um forno de micro-ondas ou pela utilização de um equipamento chamado Koster, sendo que os dois últimos métodos podem ser realizados na propriedade e em poucos minutos.

A produção de MS/hectare aumenta em função do acúmulo percentual de MS da planta.

Nussio et al (2001) diz que o ponto ideal de colheita é o ponto de maior produção de MS digestível/ha, com uma qualidade nutricional satisfatória e com um teor de umidade que propicie a ocorrência de um processo de fermentação adequado. O alto teor de umidade facilita a padronização de partículas e a compactação, mas teores abaixo de 28% de MS leva a proliferação de bactérias do gênero *Clostridium*, aumentando o consumo de carboidratos solúveis, a produção de nitrogênio amoniacal, a redução na fermentação láctica, um maior tempo para a estabilização do pH, a maior produção de efluentes e maiores perdas por lixiviação de dissacarídeos, peptídeos e minerais.

Ter cuidado para não realizarmos uma colheita precoce quando observamos as folhas do baixeiro secas, que podem dar a impressão da secagem da planta, mas que na verdade ocorre por déficit hídrico ou por deficiências nutricionais.

Alguns autores defendem a colheita da silagem com uma MS um pouco mais alta, entre 35% a 40%, ou seja, no ponto de maturidade fisiológica dos grãos, o que resulta em uma silagem com maior quantidade de grãos e de amido, reduzindo o FDN da mesma, melhorando sua qualidade, consumo e, conseqüentemente, melhores resultados em produção, seja de carne ou leite. Tal ponto aumenta a produção de MS/hectare e reduz a quantidade utilizada de concentrados nas dietas, o que reduz custo. Além disso, silagem com teores de MS mais altos, reduzem o risco do crescimento de microrganismos indesejáveis.

Mas, para obtermos sucesso na ensilagem da massa verde com níveis de MS mais altos, temos que ter uma estrutura de colheita que permita o corte homogêneo das partículas (que se torna mais difícil), que evite perdas maiores por deriva e que tenha condições de quebrar os grãos, utilizando o dispositivo cracker.

Outro ponto a ser observado na colheita é a altura de corte, a qual normalmente é feita a 12 cm do solo. Entretanto, se a intenção for buscarmos uma menor participação de colmos e folhas, maior proporção de grãos, menores teores de FDN, FDA e lignina e maiores teores de amido, podemos fazer o corte a 45 cm do solo, o que também aumentaria o material residual no solo, principalmente potássio, mas diminuiria em 10% a produção de MS/hectare, o que se mostrou ineficiente nos sistemas de produção. Essa altura de corte se justifica

apenas se tivermos uma lavoura passada do ponto de MS para colheita, que pode ser utilizada visando melhorar a qualidade da silagem.

O tamanho de partícula ideal é entre 0,6 cm e 2,0 cm em 70 a 80% da massa ensilada, para uma melhor compactação e fermentação, sendo recomendado afiar as facas e contra-facas da ensiladeira pelo menos duas vezes ao dia, ou a cada seis horas de trabalho.

O aumento excessivo no tamanho das partículas, além de atrapalhar na compactação da massa verde, acaba causando uma maior seleção de ingredientes pelos animais, alterando a composição da dieta original.

Já o menor tamanho de partículas pode levar a uma queda no pH ruminal, acidose ruminal, menor digestão de fibras, queda na gordura do leite e menor desempenho produtivo.

Para um melhor ajuste do equipamento, é recomendado a análise de tamanho de partículas utilizando-se um conjunto de peneiras penn state no momento da colheita.

2.4 Ensilagem

Segundo levantamento realizado em 2012 pelo Professor Thiago Fernandes Bernardes do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras, 60% das fazendas produtoras de leite do Brasil armazenam suas silagens em silos do tipo trincheira, 38% no tipo superfície, 1% em silos bolsa e 1% em fardos. Além desses, temos o silo cisterna que hoje é muito pouco utilizado.

No planejamento desta etapa da produção da silagem, temos que começar pela determinação do tamanho do silo, o qual esta diretamente ligado ao consumo diário de silagem.

Para mantermos a qualidade do material ensilado, no manejo de retirada deste silo devemos sempre retirar a área toda do silo, ou seja, o painel todo, sempre em camadas maiores que 15 cm, para evitarmos a entrada de oxigênio e a deterioração do material. Dessa forma, calculamos o consumo diário de silagem pela propriedade, mais um percentual de perdas e dividimos pela densidade média de uma silagem compactada, no valor de 650 kg/m^3 , obtendo o volume de uso diário em m^3 . Dividindo este volume de uso diário pela espessura da camada que será retirada por dia, encontramos área do painel do silo

em m². Quando dividimos o volume de uso diário pela área do painel do silo, encontramos o comprimento que este silo deverá ter. Com isso, chegamos às dimensões do silo que iremos fazer.

As paredes do silo devem ser protegidas por lona plástica, mesmo quando as paredes são concretadas.

O silo deve ser preenchido em camadas diagonais e com uma espessura de 30 cm, conforme esquema da figura 1.

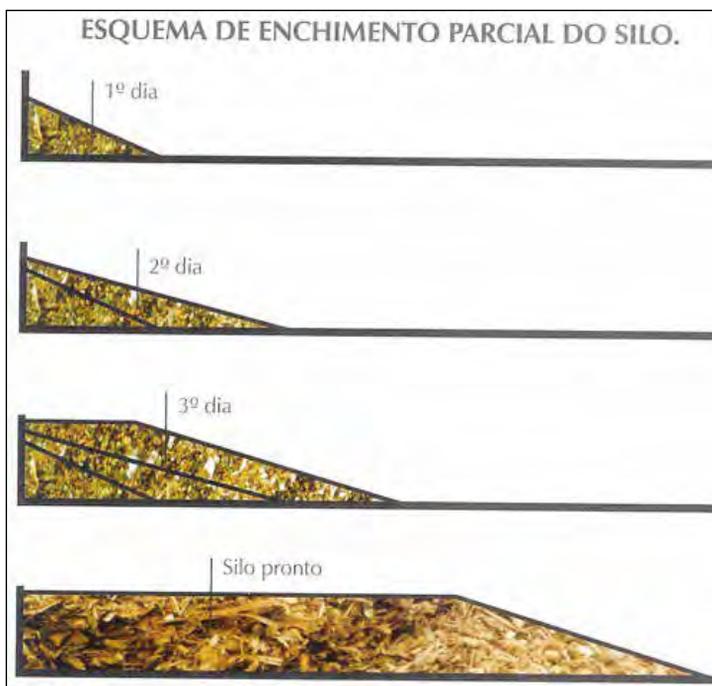


Figura 1: Esquema de enchimento parcial do silo

Cada camada deve ser compactada continuamente por tratores com no mínimo 40% do peso da massa descarregada por hora e por 10 a 20% a mais do tempo de enchimento deste silo.

Além do peso do trator, o tamanho das partículas cortadas ajuda a definir o grau de compactação que conseguimos imprimir na silagem, aumentando ou diminuindo a densidade do material ensilado. Quanto menor o tamanho das partículas, maior a densidade da silagem.

A silagem bem compactada impede a permanência e entrada de oxigênio na massa ensilada e garante a ocorrência da fermentação láctica,

com queda de pH e sem elevação de temperatura no material ensilado. Mas quando a compactação não atinge os níveis adequados, temos a entrada de oxigênio e percebemos níveis elevados de temperatura no material. A silagem deve permanecer a temperatura ambiente, podendo variar 5°C para cima ou para baixo.

Quanto maior for a densidade imprimida no material ensilado, menor serão as perdas de MS deste silo.

Segundo Senger et al. (2005), o material deve ser compactado e o silo vedado no menor espaço de tempo possível, diminuindo a exposição do material ao oxigênio e preservando as características qualitativas da silagem removida do silo após o período de fermentação e estabilização. O tempo ideal para este fechamento é menos de 3 dias.

Amaral et al. (2011) comparou lonas de diferentes materiais para o fechamento do silo, concluindo que o melhor para a conservação do material ensilado é o uso de uma lona dupla face coberta por bagaço de cana, material este que resultou em menores perdas de silagem por deterioração e melhores resultados zootécnicos, quando oferecido para os animais.

As perdas na armazenagem são consequência de erros cometidos durante algum processo anterior, determinado pela presença de oxigênio e consequente deterioração da silagem por microrganismos aeróbios ou perdas por produção de efluentes quando a planta é cortada com teor de matéria seca inferior a 30% (VILELA et al., 2008). Segundo Muck, 1998, essas perdas podem ser ocasionadas por 4 principais processos biológicos que afetam negativamente a ensilagem: a respiração da planta, a sua atividade enzimática, a atividade clostrídica e ação de microrganismos aeróbios.

2.5 Desensilagem

O processo de desensilagem pode ser manual ou mecânico, para o qual existem diversos tipos de equipamentos disponíveis no mercado. Independentemente da forma que for ser utilizada, esta deve seguir algumas regras importantes.

O silo só deverá ser aberto quando todo o processo de fermentação chegar ao fim e ocorrer a estabilização do material, sendo que nesse processo é interessante o uso de inoculantes, uma vez que acelera a

queda do pH, diminuindo as perdas durante o processo e reduzindo o tempo para a chegada ao ponto de estabilização.

Deve-se sempre seguir práticas de manejo que diminuam a área exposta ao ar e a penetração de oxigênio na silagem. Não se deve criar degraus na retirada do silo, sempre retirando camadas homogêneas do painel todo do silo diariamente.

Silagem começa a perder qualidade já nas primeiras 12 horas de exposição ao ar, por isso é recomendado retirar apenas o que será consumido naquele momento e no momento de fornecer para os animais.

2.6 Considerações Finais

Para que o processo de ensilagem resulte numa silagem de boa qualidade é fundamental que cada etapa de sua produção seja adequadamente planejada.

A colheita de silagem com MS entre 35% a 40% é possível e vantajosa economicamente, devendo, entretanto, serem utilizados equipamentos adequados para estes níveis de MS.

A silagem utilizada deve ser analisada diariamente quanto ao seu odor, aspecto e consumo pelos animais. Frequentemente, deve-se analisar sua MS e tamanho de partículas, sendo estas chamadas análises físicas, que quando utilizadas durante a sua confecção, auxiliam na obtenção de um produto de melhor qualidade.

As análises químicas da silagem são importantes para determinar o valor nutritivo da mesma e orientar em como utilizá-la.

O uso de inoculante na confecção do silo é economicamente viável e importante para obtenção de uma silagem de qualidade superior.

2.7 Referências Bibliográficas

AMARAL, R. C. Estratégias de controle da deterioração aeróbia em silagens de milho e seu valor alimentício para vacas em lactação. **Tese de doutorado em ciência animal e pastagens, Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz, Piracicaba/SP.** 175p, 2011.

BERNARDES, T. F. Levantamento das práticas de produção e uso de silagens em fazendas leiteiras no Brasil. **Ebook Dow AgroSciences,** 2012.

FACTORI, M. A. et al. Degradabilidade e digestibilidade de híbridos de milho em função do estágio de colheita, tamanho de partícula e processamento por meio do esmagamento na ensilagem. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, supplement 2, p. 882-891, Oct./14.

GOMIDES, G.C. Fatores determinantes na ensilagem de milho: da colheita à utilização. **Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Goiás**, 2013.

MUCK, R.E.; DICKERSON, J.T. Storage temperature effects on proteolysis in alfalfa silage. **Trans. ASAE**, 31:1005-09, 1998.

NEUMANN, M et al. Efeito do tamanho de partícula e da altura de corte de plantas de milho na dinâmica do processo fermentativo da silagem e no período de desensilagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.36, n.5, p. 1603-1613, 2007 b.

NUSSIO, L. G., ZOPOLLATTO, M. Determinação do ponto de maturidade ideal para colheita do milho para silagem. Departamento de zootecnia. USP/ESALQ, Piracicaba, SP. 2001.

NUSSIO, L. G.; Campos, F. P.; Dias, F. N. Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. **SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS**, p. 127-145, 2001.

SENGER, C.C.D.; MUHLBACH, P.R.F.; SANCHES, L.M.B.; et al. Composição química e digestibilidade 'in vitro' de silagens de milho com distintos teores de umidade e níveis de compactação. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.35, n.6, p 1393-1399, 2005.

SILVEIRA, J. P. F. Consumo e digestibilidade de silagem de híbridos de milho em função do estágio fisiológico e processamento. **Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, como parte das exigências para a obtenção de título de Mestre, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "Julio de Mesquita Filho", FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA, CÂMPUS DE BOTUCATU**. 2009.

SILVEIRA, J. P. F. Processamento mecânico da silagem de milho e níveis de inclusão de concentrado na dieta de novilhos nelore confinados.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, como parte das exigências para a obtenção de título de Mestre, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Julio de Mesquita Filho”, FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA, CÂMPUS DE BOTUCATU. 2012.

ULIAN, N. A. Características quanti-qualitativas da silagem de milho no sistema de integração lavoura-pecuária. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia como parte das exigências para obtenção do título de Mestre. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA, CAMPUS DE BOTUCATU. 2013.

VILELA, H.H.; REZENDE, A.V.; VIEIRA, P.F.; et al. Valor nutritivo de silagens de milho colhido em diversos estádios de maturação. Revista Brasileira de Zootecnia, v.37, n.7, p 1192-1199, 2008.

FERNANDO SIMONI BACILIERI

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Solos pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU.

Doutorando em Agronomia área de Fitotecnia na Universidade Federal de Uberlândia -

UFU. E-mail: ferbacilieri@zipmail.com.br

1. Introdução

A agricultura tem caminhado principalmente para os pequenos detalhes, a fim de que os produtores possam produzir com qualidade e colher cada vez mais. Para que se aumente ainda mais a produtividade das lavouras, cultivares mais produtivas, práticas adequadas de manejo e novas tecnologias de nutrição e fisiologia de plantas têm que fazer parte das atuais atividades agrícolas.

Com o desenvolvimento da biotecnologia, bioquímica e da fisiologia vegetal, novos compostos têm sido identificados, sintetizados e aplicados às plantas com objetivos de torna-las mais eficientes e produtivas, tratam-se dos bioestimulantes. A utilização destas substâncias aumenta de importância à medida que o potencial genético das culturas é elevado e os fatores ambientais limitantes não são possíveis de serem controlados.

Os bioestimulantes são definidos por e Berlyn (1990) como produtos que quando aplicados nas plantas reduzem a necessidade de fertilizantes e aumentam a produtividade e resistência destas ao estresse hídrico e climático. Casillas et al. (1986) e Zhang e Schmidt (2000) afirmam que essas substâncias são eficientes quando aplicadas em pequenas concentrações, favorecendo o bom desempenho dos processos vitais da planta e permitindo, assim, a obtenção de maiores colheitas e produtos de melhor qualidade.

Vieira (2001) considera bioestimulantes a mistura de dois ou mais reguladores vegetais ou de reguladores vegetais com outros compostos. Dentre estes produtos que estimulam o desenvolvimento das plantas estão os ácidos húmicos, algas marinhas, vitaminas, aminoácidos e ácido ascórbico (RUSSO E BERLYN, 1992). De acordo com Ferrini e

Nicesse (2002), a utilização dos bioestimulantes serve como alternativa potencial à aplicação de fertilizantes para estimular a produção de raízes, especialmente em solos com baixa fertilidade e baixa disponibilidade de água.

Mais recentemente através de uma associação criada pelas empresas europeias fabricantes de bioestimulantes denominada EBIC (EUROPEAN BIOSTIMULANTES INDUSTRY COUNCIL, 2012) a definição empregada para os bioestimulantes vegetais foi a de produtos que contêm substâncias e/ ou microrganismos cuja função quando aplicado a plantas ou rizosfera é estimular os processos naturais para melhorar a absorção e eficiência de nutrientes, de tolerância ao estresse abiótico, e qualidade das culturas. Bioestimulantes não têm ação direta contra as pragas e, portanto, não se inserem no quadro regulamentar de agroquímicos e embora bioestimulantes possam conter nutrientes em suas formulações eles atuam por mecanismos diferentes nas plantas.

Na América do Norte uma entidade sem fins lucrativos denominada Biostimulant Coalition define os bioestimulantes como “substâncias, incluindo microrganismos, que são aplicadas à planta, sementes, solo ou outros meios de cultura e que podem aumentar a capacidade da planta para assimilar os nutrientes aplicados, ou fornecer benefícios para o desenvolvimento da planta (BIOSTIMULANT COALITION, 2013).

Os bioestimulantes podem incrementar o crescimento e o desenvolvimento vegetal estimulando a divisão, diferenciação e alongamento celular, tais efeitos dependem da concentração, natureza e proporção das substâncias presentes nos produtos. Os bioestimulantes podem também aumentar a absorção e utilização de água e de nutrientes pelas plantas (VIEIRA, 2001).

A definição e o conceito de bioestimulantes têm mudado ao longo dos anos em função da diversidade de compostos novos que apresentam efeitos sobre o crescimento, desenvolvimento, metabolismo e produtividade das culturas comprovados pela pesquisa.

2. Microrganismos inoculantes

O uso de inoculantes e microrganismos na agricultura aumentou significativamente durante as últimas duas décadas (HAYAT et

al. 2010), o setor público e privado, as comunidades de pesquisa e desenvolvimento agrícola trabalham para criar soluções para os problemas da agricultura moderna.

Biofertilizantes são produtos biológicos contendo microrganismos vivos que, quando aplicado às sementes, as superfícies de plantas ou solo, promovem o crescimento através de vários mecanismos, tais como o aumento da disponibilidade de nutrientes, aumentando a biomassa radicular ou área de raiz, e aumentando a capacidade de absorção de nutrientes da planta e por seus efeitos passam a ser considerados como bioestimulantes (VESSEY, 2003). Estes microrganismos podem ser utilizados para complementar a adubação com os fertilizantes minerais (CANBOLAT et al. 2006).

Inoculantes de microrganismos incluem principalmente bactérias de vida livre, fungos e fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (BERG 2009; DODD e RUIZ-LOZANO 2012; VESSEY, 2003), que foram isolados a partir de uma variedade de ambientes, incluindo solo, plantas, resíduos vegetais, água, e adubos orgânicos compostados.

Entre os bioestimulantes que já foram estudadas em profundidade estão as rizobactérias promotoras do crescimento plantas (PGPR) e as chamadas bactérias promotoras do crescimento de plantas (PGPB). Estudos envolvendo rizobactérias, chamadas de PGPR (“plant growth promoting rhizobacteria”), ou seja, rizobactérias promotoras de crescimento de plantas, que são bactérias que vivem naturalmente no sistema radicular da planta, vem apresentando resultados satisfatórios, obtendo efeito positivo no crescimento de raízes e parte aérea das plantas (MAFIA, 2004; MAFIA et al., 2005a; TEIXEIRA et al., 2007) além de atuarem na resistência à doenças (TEIXEIRA et al., 2005).

As PGPRs incluem diferentes espécies pertencentes a diversos gêneros como: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azobacter*, *Arthrobacter*, *Clostridium*, *Hydroganophaga*, *Enterobacter*, *Serratia* e *Azospillum* (BENIZRI et al., 2001).

Espécies de plantas ou cultivares diferentes podem produzir diferentes tipos de exsudatos pelas raízes que estimulam a atividade dos microrganismos inoculados e que também servem como substratos para a formação de substâncias biologicamente ativas por os microrganismos (KHALID et al., 2004).

Bactérias do gênero *Bacillus* estimulam o crescimento e desenvolvimento das plantas e apresentam algumas características favoráveis para à produção de inoculantes comerciais: como produção endósporos, seu manuseio e aplicação seriam facilitados, inclusive com possibilidade de mistura com outros defensivos. Um aspecto que as inclui estas bactérias entre as rizobactérias agentes de controle biológico é a sua capacidade de produção de antibióticos (FREITAS & PIZZINATTO, 1997).

Embora, os mecanismos da ação de rizobactérias, ainda não estejam completamente esclarecidos, a promoção de crescimento pode ocorrer pela produção de fitormônios, como auxinas e giberelinas, por inibição da síntese de etileno e de mineralização de nutrientes (TEIXEIRA, 2001).

Em geral, a promoção do crescimento depende de vários mecanismos, sendo os principais efeitos de PGPR relacionados ao aumento da raiz, caule e crescimento de ramos e, conseqüentemente, aumentando o rendimento da planta, podendo também, suprimir microrganismos deletérios ou patogênicos (LUZ, 1996; DIGAT et al., 1993; MAHAFFEE; KLOEPPER, 1994) ou estimular a associação de fungos micorrízicos e *Rhizobium* sp. (MAHAFFEE; KLOEPPER, 1994).

Wu et al. (2005) relataram a promoção de crescimento de plantas de milho (*Zea mays*) após a inoculação com estirpes de *Bacillus megaterium* e *Bacillus muciaraglaginous* e uma melhor assimilação dos nutrientes N, P e K. Aplicação da mistura de três estirpe de *Bacillus* spp resultou em um aumento significativo na absorção de N, P e K, bem como aumento de raízes e de matéria seca em algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) (EGAMBERDIYEV e HOFlich 2004) e trigo (*Triticum aestivum*) (SHAHAROONA et al. 2008, ADESEMOYE et al., 2010).

Algumas bactérias apresentam capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico (N₂) através da simbiose, pertencem a muitos gêneros diferentes, incluindo *Azoarcus* spp. (HUREK et al., 1994), *Beijerinckia* spp. (BALDANI et al., 1997), *Klebsiella pneumoniae* (RIGGS et al., 2001), *Pantoea agglomerans* (RIGGS et al., 2001), *Azotobacter* spp. (MRKOVACKI e MILIC 2001), *Azospirillum* spp. (GARCIA DE SALAMONE et al., 1996), *Bacillus polymyxa* (OMAR et al., 1996), *Burkholderia* spp. (BALDANI et al. 2001), *Herbaspirillum* spp.

(PIMENTEL et al., 1991), e *Gluconoacebacter diazotrophicus* (BODDEY et al., 2001) também podem ser consideradas bioestimulantes vegetais.

O gênero *Azospirillum* é um dos mais estudados e sua capacidade em fixar N atmosférico já foi verificada em uma séria de cultivos como algodão, trigo, cana de açúcar e milho (MALIK et al., 2002). Na cana de açúcar de 60 a 80% do N total pode ser obtido através da inoculação com *Azospirillum diazotrophicus* (BODDEY et al. 1991).

Baixa disponibilidade de formas absorvíveis de P no solo representa um problema importante para os sistemas agrícolas, alguns microrganismos podem aumentar a disponibilidade dos nutrientes do solo e promover a solubilização do P, permitindo assim que as plantas que consumam este nutriente de uma maneira mais eficiente.

Diferentes gêneros de bactérias têm sido identificadas como solubilizantes de fósforo (DE FREITAS et al., 1997), incluindo *Pseudomonas* spp. (MALBOOBI et al 2009; PARK et al., 2009), *Bacillus* spp. (ARKHIPOVA et al 2005; DE FREITAS et al 1997; SAHIN et al., 2004; ZAIDI et al., 2006), *Burkholderia* spp. (TAO et al., 2008), *Streptomyces* spp. (CHANG e YANG, 2009), *Achromobacter* spp. (MA et al., 2009), *Micrococcus* spp. (DASTAGER et al., 2010), *Flavobacterium* spp. (KANNAPIRAN e RAMKUMA, 2011), *Erwinia* spp. (RODRIGUEZ et al., 2001), e *Azospirillum* spp. (RODRIGUEZ et al., 2004). Os dois mecanismos mais relatados por microrganismos que solubilizam P são a produção de ácidos orgânicos (GOLDSTEIN, 1995) e de produção de fosfatases para libertar P orgânico (RODRIGUEZ et al., 2006).

Além P, potássio (K) é outro nutriente essencial que pode ser solubilizado por microrganismos do solo solubilizar minerais K excretando ácidos orgânicos que se dissolvem diretamente K rocha como micas, illita e orthoclases (FRIEDRICH et al 1991; PARMAR e SINDHU, 2013). Aplicação de *Bacillus mucilaginosus* e *B. megaterium* com rocha ricas em K resultou em aumentos significativos de K absorvido pelas raízes em berinjela (HAN e LEE, 2005). Sheng (2006) sugeriu que a absorção aumentada de K por meio de inoculação com *Bacillus edaphicus* foi devido à produção de ácidos orgânicos (cítrico, oxálico, tartárico, succínico, e α -cetogluconico) que se dissolvem diretamente rocha K.

Os microrganismos têm sido estudados no aumento da absorção de outros macro e micronutrientes, e os mecanismos envolvidos ainda estão a ser elucidados. Aumentos na biomassa radicular, área de superfície de raiz, ou pelos radiculares podem ser mecanismos indiretos que aumentam a absorção de nutrientes. Uma grande variedade de microrganismos tais como *Pseudomonas* spp., *Acinetobacter* spp., *Azospirillum* spp., *Bacillus* spp., e fungos micorrizos arbusculares foram relatados com a capacidade de aumentar a absorção de Zn (KOHLENER et al., 2008; YAZDANI e PIRDASHTI, 2011), Cu, Mn (LIU et al., 2000), Ca, Mg (GIRI e MUKERJI, 2004; KHAN 2005), e S (BANERJEE et Al., 2006).

A produção de reguladores de crescimento plantas por muitas espécies bacterianas e seus efeitos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas foi relatado mais de 30 anos atrás (BAREA et al., 1976). Microrganismos inoculantes, tais como PGPR, podem alterar a arquitetura da raiz e promover o desenvolvimento das plantas através da produção ou degradação dos principais grupos de hormônios vegetais (BHATTACHARYYA e JHA 2012; DODD et al., 2010; IDRIS et al., 2007). As PGPR também podem modificar o status hormonal das plantas (BELIMOV et al., 2009), uma vez que hormônios como auxinas, citocininas, giberelinas e etileno podem ser sintetizados por microrganismos benéficos. Estes hormônios vegetais regulam vários processos fisiológicos, incluindo a iniciação de raiz, alongamento da raiz, e formação de pelos radiculares.

3. Substâncias Húmicas

Segundo Stevenson (1994), a matéria orgânica do solo consiste de uma mistura de compostos em vários estágios de decomposição, que resultam da degradação biológica de resíduos de plantas e animais, e da atividade sintética de microrganismos. Pode ser agrupada em substâncias húmicas e não húmicas, sendo as últimas compostas por compostos com características químicas definidas, tais como, polissacarídeos, aminoácidos, açúcares, proteínas e ácidos orgânicos de baixa massa molar. As substâncias húmicas possuem em sua fórmula estrutural carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e enxofre e existem naturalmente em solos, turfas, oceanos e águas doces não apresentam

características químicas e físicas bem definidas, e se dividem em: ácido húmico, ácido fúlvico, ácido himatomelanico e humina, com base nas suas características de solubilidade.

As huminas são a fração menos humificada das substâncias húmicas. São compostos quimicamente heterogêneos e são insolúveis em soluções ácidas ou alcalinas. As huminas são materiais complexos e inativos do ponto de vista químicos.

Os ácidos húmicos são a fração das substâncias húmicas que são solúveis em ácidos e solventes orgânicos, possuem elevado peso molecular e capacidade de troca de cátions em torno de 350 a 500 mmol.dm³.

Os ácidos himatomelânicos são compostos que formam suspensões ou soluções coloidais quando em mistura com a água. São similares aos ácidos húmicos em sua composição elementar, porém são de menor peso molecular.

Os ácidos fulvicos são a fração das substâncias húmicas que são solúveis tanto em água, como em soluções de pH ácidos ou alcalinos. Possuem similaridade aos ácidos húmicos quanto as unidades estruturais, porém possuem menor peso molecular, maior quantidade de compostos fenólicos e grupos carboxílicos e por estas características são mais solúveis em água e possuem maior CTC que pode variar entre 700 a 1000 mmol.dm³.

As substâncias húmicas encontradas no solo, exercem um papel muito importante para produção das culturas. Tendo em vista que essas representam uma fonte de liberação lenta de nutrientes no solo (principalmente N, P e S), contribuem com a maior parte da CTC dos solos, principalmente em solos arenosos, possuem a habilidade de formar complexos com vários íons metálicos e, devido seu caráter anfótero, agem como tamponantes das reações do solo em uma ampla faixa de pH. Tais características fazem com que estas substâncias governam a dinâmica e disponibilidade de nutrientes no solo.

As substâncias húmicas influenciam a atividade microbiológica do solo, a qual é responsável por mediar reações de síntese e decomposição de substâncias húmicas, mineralização e imobilização de nutrientes no solo. Além disso, influenciam indiretamente o desenvolvimento das plantas, aumentando ou reduzindo a disponibilidade de nutrientes,

agregação e retenção de água no solo, as substâncias húmicas podem agir diretamente nas plantas, facilitando a absorção de nutrientes, aumentando a produção de ATP, clorofila e alterando a atividade enzimática.

O aumento da absorção de nutrientes relacionado à presença de substâncias húmicas (SH) em solução tem sido justificado por um possível aumento da permeabilidade da membrana plasmática por meio da ação surfactante das SH e a ativação da H^+ - ATPase de membrana plasmática (VARANINI et al.,1993). O gradiente eletroquímico gerado pela H^+ - ATPase de membrana plasmática esta diretamente ligado a dois mecanismos fundamentais ao desenvolvimento das plantas: a energização de sistemas secundários de translocação de íons, fundamental para absorção de macro e micronutrientes, e o aumento da plasticidade da parede celular, que possibilita o processo de crescimento e divisão da célula vegetal. Por outro lado, esse aumento da permeabilidade pode ser deletério, se ocorrer perda do controle da seletividade da membrana plasmática.

As substâncias húmicas foram citadas por aumentar alguns aspectos do crescimento em diversas espécies de plantas de interesse agrônomico como soja, trigo, arroz, milho, tomate, pepino, pimenta, citros (*Citrus limon*) e uva (*Vitis vinifera*). Além de aumentar o crescimento das raízes nas primeiras fases de desenvolvimento das plantas, aplicações de substâncias húmicas também podem aumentar o rendimento ou qualidade das culturas.

Plantas de tomateiro mostraram incremento na taxa respiratória na adição de 50 mg.L⁻¹ de ácidos fulvicos (SLADKY, 1959). GUMINSKI (1950) propôs que sob condições de deficiência de oxigênio os ácidos húmicos atuam como aceptores de hidrogênio facilitando a respiração da planta.

O efeito das substâncias húmicas sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas pode estar relacionado com sua atividade hormonal. Phuong e Tichy (1976) reportaram que os ácidos fulvicos apresentam atividades dos hormônios vegetais citocininas, auxinas e giberilinas. Segundo Mato et al. (1971) os ácidos húmicos não possuem atividade auxínica, mas inibem a enzima IAA-oxidase, protegendo o ácido indol acético da degradação. Já Cesanave de San Filippo et al.

analisaram o conteúdo hormonal de ácidos húmicos e constataram a existência de substâncias promotoras de crescimento correspondentes ao AIA e seus precursores.

As pesquisas sobre os efeitos das substâncias húmicas na fisiologia das plantas também têm sido direcionadas para estudos de estresse abiótico. Em um trabalho realizado com a cultura do arroz cultivado sob estresse hídrico, (GARCIA et al., 2012) relatou que os ácidos húmicos induziram atividade da peroxidase nas folhas e raízes, o que levou à redução do teor de peróxido de hidrogênio, manutenção da permeabilidade da membrana e aumento do teor de prolina que é um aminoácido que tem efeito osmorregulador.

Os efeitos fisiológicos específicos de substâncias húmicas em plantas vão depender da fonte, a concentração, e o peso molecular das frações húmicas aplicadas (NARDI et al., 2002).

A extração das substâncias húmicas pode ser realizada em matérias primas fossilizada com uso de uma solução alcalina. Posteriormente passam por processo de estabilização e enriquecimento, incluindo a adição de nutrientes (MIKKELSEM, 2005). Atualmente existe no mercado uma grande variedade de produtos formulados com substâncias húmicas utilizados em tratamento de sementes, via solo (drench ou fertirrigação) e via foliar.

4. Aminoácidos

Aminoácidos são moléculas orgânicas compostas por carbono (C), grupo amina (NH_2), grupo carboxílico (COOH), um átomo de hidrogênio (H) e um radical (R), que é diferente para cada tipo de aminoácido. São compostos importantes no metabolismo de nitrogênio e unidades formadoras dos peptídeos, proteínas e precursores de outras moléculas como hormônios, coenzimas, nucleotídeos e polímeros de paredes celulares. São fundamentais para todos os seres vivos, nas plantas, estão envolvidos em uma série de reações fisiológicas, ligadas intimamente ao crescimento e desenvolvimento.

A estimulação ao crescimento de plantas já foi descrita em diversos trabalhos na literatura as principais hipóteses atribuídas aos efeitos dos aminoácidos são suas funções na síntese de proteínas, produção de compostos intermediários precursores de hormônios vegetais

endógenos, efeito quelatizante em nutrientes e outros agroquímicos e maior resistência a estresses de origem biótica e abiótica (CASTRO, 2008).

A suposição de que as plantas podem absorver aminoácidos e peptídeos já foi comprovada. Watson e Fowden (1975) e Soldal e Nissen (1978) demonstraram através do uso de aminoácidos radiomarcados que as raízes das plantas podem absorver aminoácidos. A absorção via foliar de aminoácidos, também tem sido relatado (FURUYA e UMEMIYA, 2002; MINI, 2006; STIEGLER et al., 2013).

Os aminoácidos têm grande permeabilidade na cutícula via pulverização foliar e dessa forma aumentam a eficiência da absorção foliar. De acordo com Ashmead et al. (1986), quando o nutriente mineral é associado a aminoácidos através do processo de complexação, há uma maior penetração na membrana cuticular e uma velocidade maior do que o previsto por difusão simples sugerindo que aminoácidos ligantes tem propriedades promotoras de permeabilidade apresentando grandes vantagens de utilizar um aminoácido que apresenta efeito quelatizante com o nutriente mineral em vez de cations livres. Taiz e Zeiger (2009) relatam que os aminoácidos podem ser transportados através da membrana plasmática da célula por meio de transportadores tipo simporte, penetrando na célula paralelamente à entrada de H^+ .

Os produtos à base de aminoácidos podem ser divididos em duas categorias principais: proteínas hidrolisadas consistindo de uma mistura de péptidos e aminoácidos de origem animal ou vegetal e aminoácidos individuais, tais como o glutamato, glutamina, prolina e glicina betaína.

Os aminoácidos de proteínas hidrolisadas são obtidos através de tratamento enzimático, químico ou térmico de uma variedade de resíduos animais e vegetais. Outros componentes não-proteicos presentes nestes hidrolisados podem também contribuir com os efeitos estimulantes sobre as plantas apresentando efeito similar ao de hormônios vegetais como auxinas e giberilinas.

Os aminoácidos individuais incluem-se nesta categoria os vinte aminoácidos estruturais envolvidos na síntese de proteínas além como aminoácidos não-proteicos que se encontram abundantemente em algumas espécies de plantas (VRANOVÁ et al., 2011). Existem

evidências consideráveis de que a aplicação exógena de aminoácidos estruturais e não proteicos, incluindo glutamato, histidina, prolina e glicina betaína pode proporcionar proteção contra estresses ambientais sendo ativos na sinalização metabólica (SHARMA e DIETZ, 2006; FORDE e LEA, 2007; VRANOVÁ et al., 2011; LIANG et al., 2013).

O metabolismo e assimilação de nitrogênio e de carbono podem ser favorecidos com a aplicação de aminoácido de proteínas hidrolisadas ou aminoácidos individuais demonstrado em trabalhos realizados por Schiavon et al. (2008) onde observou-se aumento na atividade de três enzimas no ciclo do ácido tricarboxílico (malato desidrogenase, isocitrato desidrogenase e citrato sintase) e cinco enzimas envolvidas na redução e assimilação de N (reductase de nitrato, nitrito reductase, glutamina-sintetase, sintase de glutamato e aspartato aminotransferase).

Existe evidências de que os aminoácidos de proteínas hidrolisadas e aminoácidos específicos, incluindo prolina, betaína, seus derivados e seus precursores podem induzir respostas de defesa da planta e tolerância para uma variedade de estresses abiótico, incluindo salinidade, seca, temperatura e condições oxidantes (ASHRAF e FOOLAD, 2007; CHEN e MURATA, 2008; KAUFFMAN et al., 2007; APONE et al., 2010; ERTANI et al., 2013).

Os aminoácidos e os péptidos desempenham um papel na tolerância das plantas contra toxidez causada por metais pesados. A acumulação de prolina é induzida em muitas plantas submetidas ambientes com altos níveis de metais pesados. Prolina pode funcionar na osmorregulação, compensando o déficit de água que pode surgir com a exposição a metais pesados; pode quelar íons metálicos dentro das células no xilema; pode atuar como um antioxidante na eliminação de radicais livres formados como um resultado da absorção de metais pesados (Citados por SHARMA E DIETZ, 2006).

Outros aminoácidos, incluindo asparagina, glutamina e cisteína e peptídeos, tais como a glutatona e os fitoquelatinas são importantes na quelação de Zn, Ni, Cu As e Cd (SHARMA e DIETZ, 2006; SYTAR et al., 2013).

Pesquisas realizadas por Brandão (2007), com a cultura da cana de açúcar comprovam a eficiência dos aminoácidos, mesmo quando aplicado somente sobre os toletes o resultado já foi superior ao

tratamento controle. Porém a combinação da aplicação do aminoácido nos toletes e via foliar proporcionou os maiores incrementos.

Kikutti e Tanaka (2005) avaliaram a aplicação de aminoácidos em sementes de feijão e concluíram que a na aplicação de aminoácidos não ocorreu efeito positivo no vigor de sementes, poré houve melhor qualidade das sementes avaliadas em teste de germinação.

Malavolta (1980) refiriu-se a trabalhos próprios demonstrando que a exigência de S pelo tomateiro poderia ser suprida através do fornecimento de metionina e cisteina, dois aminoácidos que são ricos neste elemento.

5. Extratos de algas

A utilização de algas na agricultura é praticada a milênios, inicialmente eram empregadas diretamente ou após a compostagem como corretivo de pH do solo para aumentar a disponibilidade de nutrientes do solo e promover maiores produtividade das culturas (KHAN et al., 2009; CRAIGIE, 2011). Na na década de 1950 com a evolução de processos industriais para extração de extratos de algas líquidos, surgiram uma série de produtos comerciais formulados a partir de diversas espécies de algas para uso na agricultura (KHAN et al., 2009; CRAIGIE, 2011).

Estes extratos são descritos por agirem como agentes quelantes, melhorar a utilização de nutrientes minerais pelas plantas, melhorar a estrutura e aeração do solo e estimular o crescimento da raiz (MILTON, 1964). Extratos de algas também atuam como bioestimulantes, aumentando a germinação e o estabelecimento inicial das plantas, melhorando o crescimento, rendimento, produção de flores e frutos, aumentando a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos além de melhorar a vida útil pós-colheita (MANCUSO et al., 2006; NORRIE E KEATHLEY, 2006; HONG et al.; 2007; RAYORATH et al., 2008; KHAN et al. 2009; CRAIGIE, 2011; MATTNER et al., 2013).

Os efeitos bioestimulantes têm sido muitas vezes atribuídos à presença de hormônios de crescimento de plantas e compostos de baixo peso molecular presentes nos extratos (STIK e VAN STADEN, 1997; TARAKHOVSKAYA et al., 2007.). Mas outros estudos sugerem que

as moléculas de maiores incluindo polissacáridios e polifenóis podem também ser importantes como bioestimulantes, como aleloquímico, e para melhorar a resistência ao estresse (KLARZYNSKI et al., 2003; ZHUANG et al., 2007; RIOUX et al., 2007; GONZALEZ et al., 2013).

A maioria dos produtos formulados com extratos de algas marinhas comerciais são feitos de algas marrons, incluindo *Ascophyllum nodosum*, *Fucus*, *Laminaria*, *Sargassum* e *Turbinaria* spp. (HONG et al., 2007; SHARMA et al., 2012). Os processos de fabricação dos bioestimulantes a base de algas são geralmente patenteados pelas empresas, mas podem incluir o uso de água, soluções ácidas ou alcalinas como extratores, tratamento térmico, ruptura física de algas usando moagem temperatura ou alta pressão (HERVE e ROULLIER, 1977; STIRK e VAN STADEN, 2006; CRAIGIE, 2011).

Os produtos finais podem ser na forma líquida ou pó associados a macro e micronutrientes. Os extratos de algas são ativos como bioestimulantes em baixas concentrações (diluídas 1000 vezes ou mais), o que sugere que os efeitos observados não são apenas por ação nutricional mas sim fisiológicos (CROUCH e VAN STADEN, 1993; KHAN et al., 2009).

Os extratos de algas são uma mistura complexa de componentes que podem variar de acordo com a fonte de algas, época da colheita e o processo de extração utilizado (KHAN et al., 2009; RIOUX et al., 2009; SHARMA et al., 2012; SHEKHAR et al., 2012). Eles contêm uma vasta gama de componentes orgânicos e minerais, incluindo polissacáridos exclusivos e complexos que não estão presentes nas plantas terrestres, tais como laminarina, fucoidano e alginatos (SIVASANKARI et al., 2006; RIOUX et al., 2007; KHAN et al., 2009).

Estudos têm mostrado que a aplicação foliar de extrato de algas marinhas leva ao maior desenvolvimento de raiz numa variedade de espécies, incluindo o milho (Jeannin et al., 1991), tomateiro (CROUCH e VAN STADEN, 1992) e morango (ALAM et al., 2013) com aumento das raízes laterais, maior tamanho e volume total de raízes atribuídos a presenças dos hormônios vegetais auxinas e citocininas nestes extratos. A estimulação indireta de crescimento da raiz também pode ocorrer via aumento de microrganismos do solo com maior colonização radicular

e crescimento de hifas na presença dos extratos de algas (KUWADA et al., 1999).

A aplicação extratos de algas estimulou também a absorção de nutrientes minerais em plantas como a alface (CROUCH et al., 1990), uvas (MANCUSO et al., 2006), soja (RATHORE et al., 2009), tomateiro (ZODAPE et al., 2011) e com o aumento da acumulação de macronutrientes (N, P, K, Ca, S) e micronutrientes (Mg, Zn, Mn, Fe) (CROUCH et al., 1990, MANCUSO et al., 2006; RATHORE et al., 2009; ZODAPE et al., 2011).

Existem inúmeros relatos de efeitos benéficos de extratos de algas marinhas no crescimento da parte aérea e produtividade das culturas (VERKLEIJ, 1992; STIRK e VAN STADEN, 2006; KHAN et al., 2009; CRAIGIE, 2011). Estudos recentes mostraram maior crescimento e produtividade em culturas como o trigo (KUMAR e SAHOO, 2011), maçã (*Malus domestica*) (Basak 2008), morango (ALAM et al., 2013.), tomate (KUMARI et al., 2011; ZODAPE et al., 2011), espinafre (FAN et al., 2013), quiabo (Zodape et al 2008), azeitona (*Olea europaea*) (CHOULIARAS et al., 2009) e brócolis (MATTNER et al., 2013).

O teor de clorofila nas folhas foi aumentado após a aplicação extrato de algas marinhas em uma série de estudos (BLUNDEN et al., 1997; MANCUSO et al., 2006; SIVASANKARI et al., 2006; SPINELLI et al., 2010; FAN et al., 2013; JANNIN et al., 2013). Este aumento pareceu estar associado com uma redução na degradação da clorofila e atraso na senescência matendo a fotossíntese ativa por mais tempo.

Os extratos de algas têm sido utilizados para amenizar uma variedade de estresses abiótico incluindo seca, salinidade e temperatura extremas (NABATI et al., 1994; ZHANG e ERVIN, 2004; MANCUSO et al., 2006; KHAN et al., 2009; CRAIGIE, 2011). O modo de ação dos extratos de algas para aumentar a tolerância ao estresse nas plantas não foi totalmente elucidado mas sabe-se que a presença de moléculas bioativas nos extratos, tais como betaínas (BLUNDEN et al., 1997) e citocininas (ZHANG e ERVIN, 2004), podem desempenhar um função de estimular a síntese endôgena de substâncias capazes neutralizar radicais livres e pormover um balanço hormonal positivo nas plantas.

6. Considerações finais

Os bioestimulantes são ferramentas de manejo que devem ser empregados para prevenir ou reduzir problemas fisiológicos que acometem os cultivos agrícolas e que muitas vezes passam despercebidos pelos agricultores, uma vez que os objetivos da utilização destas tecnologias não são tão claros como agroquímicos que são aplicados com alvos específicos como fungos, insetos, nematóides e ervas daninhas. Os exemplos apresentados nesta revisão mostram claramente que muitos estudos científicos têm demonstrado o potencial de várias categorias de bioestimulantes para melhorar a qualidade e produtividade de diversos cultivos.

7. Referências bibliográficas

ADESEMOYE, A. O.; TORBERT, H. A.; KLOEPPER, J. W. Enhanced plant nutrient use efficiency with PGPR and AMF in an integrated nutrient management system. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 54, n. 10, p. 876-886, 2008.

ADESEMOYE, A. O.; TORBERT, H. A.; KLOEPPER, J. W. Increased plant uptake of nitrogen from ¹⁵N-depleted fertilizer using plant growth-promoting rhizobacteria. **Applied Soil Ecology**, v. 46, n. 1, p. 54-58, 2010.

AHMAD, R.; LIM, C. J.; KWON, S.Y. Glycine betaine: a versatile compound with great potential for gene pyramiding to improve crop plant performance against environmental stresses. **Plant biotechnology reports**, v. 7, n. 1, p. 49-57, 2013.

ALAM, M. Z. et al. Effect of *Ascophyllum* extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 93, n. 1, p. 23-36, 2013.

APONE, F. A mixture of peptides and sugars derived from plant cell walls increases plant defense responses to stress and attenuates ageing-associated molecular changes in cultured skin cells. **Journal of biotechnology**, v. 145, n. 4, p. 367-376, 2010.

ARKHIPOVA, T. N. et al. Ability of bacterium *Bacillus subtilis* to produce cytokinins and to influence the growth and endogenous hormone content of lettuce plants. **Plant and Soil**, v. 272, n. 1-2, p. 201-209, 2005.

ASHRAF, M.; FOOLAD, MR. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 2, p. 206-216, 2007.

BALDANI, J.; CARUSO, L.; BALDANI, V. L.; GOI, S. R. e DORBEREINER, J. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5, p. 911-922, 1997.

BALDANI, V.L.; BALDANI, J. I.; DÖBEREINER, J. Inoculation of rice plants with the endophytic diazotrophs *Herbaspirillum seropedicae* and *Burkholderia* spp. **Biology and Fertility of Soils**, v. 30, n. 5-6, p. 485-491, 2000.

BANERJEE, M. R.; YESMIN, L.; VESSEY, J. K. Plant-growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. **Handbook of microbial biofertilizers**. Food Products Press, New York, p. 137-181, 2006.

BAREA, J. M.; NAVARRO, E.; MONTOYA, E. Production of Plant Growth Regulators by Rhizosphere Phosphate-solubilizing Bacteria. **Journal of Applied Bacteriology**, v. 40, n. 2, p. 129-134, 1976.

BELIMOV, A. A.; DODD, I. C.; HONTZEAS, N.; THEOBALD, J. C.; SAFRONOVA, V. I. & DAVIES, W. J. Rhizosphere bacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase increase yield of plants grown in drying soil via both local and systemic hormone signalling. **New Phytologist**, v. 181, n. 2, p. 413-423, 2009.

BERG, G. Plant–microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 84, n. 1, p. 11-18, 2009.

BHATTACHARYYA, P. N.; JHA, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 28, n. 4, p. 1327-1350, 2012.

Biostimulant Coalition, 2013. What are biostimulants? Disponível em <http://www.biostimulantcoalition.org/about/> acesso: 20 de set. 2016.

BLUNDEN, Gerald; JENKINS, Teifryn; LIU, Yan-Wen. Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract. **Journal of applied phyiology**, v. 8, n. 6, p. 535-543, 1996.

BODDEY, R. M. et al. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane. In: **Nitrogen Fixation**. Springer Netherlands, 1991. p. 105-111.

BODDEY, Robert M. et al. Use of the ^{15}N natural abundance technique for the quantification of the contribution of N_2 fixation to sugar cane and other grasses. **Functional Plant Biology**, v. 28, n. 9, p. 889-895, 2001.

BRANDÃO, R. P. Importância dos aminoácidos na agricultura sustentável. **São Joaquim da Barra, Informativo BioSoja**, p. 6-8, 2007.

CANBOLAT, M. Y.; BILEN, S.; ÇAKMAKÇI, R.; ŞAHIN, F. & AYDIN, A. Effect of plant growth-promoting bacteria and soil compaction on barley seedling growth, nutrient uptake, soil properties and rhizosphere microflora. **Biology and fertility of soils**, v. 42, n. 4, p. 350-357, 2006.

CASTRO, P.R.C et al. Utilização de fosfatos e potencial de aplicação dos aminoácidos na agricultura tropical. Piracicaba: ESALQ, DBID, 2008. 71p. Série Produtor Rural, 38.

CHANG, C. H.; YANG, S. S. Thermo-tolerant phosphate-solubilizing microbes for multi-functional biofertilizer preparation. **Bioresource technology**, v. 100, n. 4, p. 1648-1658, 2009.

CHEN, T. H. H; MURATA, N. Glycinebetaine: an effective protectant against abiotic stress in plants. **Trends in plant science**, v. 13, n. 9, p. 499-505, 2008.

CHOULIARAS, V.; TASIOULA, M.; CHATZISSAVVIDIS, C.; THERIOS, I. e TSABOLATIDOU, E. The effects of a seaweed extract in addition to nitrogen and boron fertilization on productivity, fruit maturation, leaf nutritional status and oil quality of the olive (*Olea europaea* L.) cultivar Koroneiki. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, n. 6, p. 984-988, 2009.

CRAIGIE, James S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, n. 3, p. 371-393, 2011.

CROUCH, I. J.; BECKETT, R. P.; VAN STADEN, J. Effect of seaweed concentrate on the growth and mineral nutrition of nutrient-stressed lettuce. **Journal of Applied Phycology**, v. 2, n. 3, p. 269-272, 1990.

CROUCH, I. J.; VAN STADEN, J. Effect of seaweed concentrate on the establishment and yield of greenhouse tomato plants. **Journal of Applied Phycology**, v. 4, n. 4, p. 291-296, 1992.

CROUCH, I. J.; VAN STADEN, J. Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. **Plant growth regulation**, v. 13, n. 1, p. 21-29, 1993.

DASTAGER, S. G.; DEEPA, C. K.; PANDEY, A. Isolation and characterization of novel plant growth promoting *Micrococcus* sp NII-0909 and its interaction with cowpea. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 987-992, 2010.

DE FREITAS, J. R.; BANERJEE, M. R.; GERMIDA, J. J. Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not phosphorus uptake of canola (*Brassica napus* L.). **Biology and Fertility of Soils**, v. 24, n. 4, p. 358-364, 1997.

DIGAT, B.; EXPERT, J.M.; BOSSIS, E. Césbactéries qui protègent et stimulent les semences et les plantules. **PHM Revue Horticole**, Montpellier, v. 341, p. 16-21, 1993.

DODD, I. C.; ZINOVKINA, N. Y.; SAFRONOVA, V. I. e BELIMOV, A. A. Rhizobacterial mediation of plant hormone status. **Annals of Applied Biology**, v. 157, n. 3, p. 361-379, 2010.

DODD, I. C.; RUIZ-LOZANO, J. M. Microbial enhancement of crop resource use efficiency. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 23, n. 2, p. 236-242, 2012.

European Biostimulants Industry Council (2013) Economic overview of the biostimulants sector in Europe, 17 April 2013. http://www.biostimulants.eu/wp-content/uploads/2013/04/Biostimulant_economics_17April2013.pdf

- FAN, Di.; HOGES, D. M.; CRITCHLEY, A. T. & PRITHIVIRAJ, B. A commercial extract of brown macroalga (*Ascophyllum nodosum*) affects yield and the nutritional quality of Spinach in vitro. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 44, n. 12, p. 1873-1884, 2013.
- FORDE, Brian G.; LEA, Peter J. Glutamate in plants: metabolism, regulation, and signalling. **Journal of experimental botany**, v. 58, n. 9, p. 2339-2358, 2007.
- FRIEDRICH, S.; PLANTANOVA, N. P.; KARAVAIKO, G. I.; STICHEL, E.; & GLOMBITZA, F. Chemical and microbiological solubilization of silicates. **Acta biotechnologica**, v. 11, n. 3, p. 187-196, 1991.
- FURUYA, S.; UMEMIYA, Y. influence of chemical. Forms on foliar-applied nitrogen absorption for peach trees. **Acta horticulturae**, 2002.
- GARCIA DE SALAMONE, I.; DOBEREINER, J.; URQUIAGA, S. e BODDEY, R. M. Biological nitrogen fixation in *Azospirillum* strain-maize genotype associations as evaluated by the 15N isotope dilution technique. **Biology and Fertility of Soils**, v. 23, n. 3, p. 249-256, 1996.
- GARCÍA, A. C.; BERBARA, R. L. L.; FARÍAS, L. P.; IZQUIERDO, F. G.; HERNANDEZ, O. L.; CAMPOS, R. H. & CASTRO, R. N. Humic acids of vermicompost as an ecological pathway to increase resistance of rice seedlings to water stress. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 13, p. 3125-3134, 2012.
- GIRI, B.; MUKERJI, K. G. Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. **Mycorrhiza**, v. 14, n. 5, p. 307-312, 2004.
- GOLDSTEIN, A. H. Recent progress in understanding the molecular genetics and biochemistry of calcium phosphate solubilization by gram negative bacteria. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 12, n. 2, p. 185-193, 1995.
- HAN, H. S.; LEE, K. D. Phosphate and potassium solubilizing bacteria effect on mineral uptake, soil availability and growth of eggplant. **Res J**

Agric Biol Sci, v. 1, p. 176-180, 2005.

HAYAT, R.; ALI, S.; AMARA, U.; KHALID, R. e AHAMED, I. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. **Annals of Microbiology**, v. 60, n. 4, p. 579-598, 2010.

HERVÉ, R. A.; ROUILLIER, D. L. Method and apparatus for communiting (sic) marine algae and the resulting product. **United States Patent**, v. 4, 1977.

HONG, D. D.; HIEN, H. M.; SON, P. N. Seaweeds from Vietnam used for functional food, medicine and biofertilizer. **Journal of Applied Phycology**, v. 19, n. 6, p. 817-826, 2007.

HUREK, T.; REINHOLD-HUREK, B.; VAN MONTAGU, M.; & KELLENBERGER, E. Root colonization and systemic spreading of *Azoarcus* sp. strain BH72 in grasses. **Journal of bacteriology**, v. 176, n. 7, p. 1913-1923, 1994.

HUSSAIN, A.; HASNAIN, S. Cytokinin production by some bacteria: its impact on cell division in cucumber cotyledons. **African Journal of Microbiology Research**, v. 3, n. 11, p. 704-712, 2009.

IDRIS, E. E.; IGLESIAS, D. J.; TALON, M. & BORRIS, R. Tryptophan-dependent production of indole-3-acetic acid (IAA) affects level of plant growth promotion by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 20, n. 6, p. 619-626, 2007.

JANNIN, L.; ARKOUN, M.; ETIENNE, P.; LAINE, P.; GOUX, D.; GARNICA, M. & HOUDUSSE, F. *Brassica napus* growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms. **Journal of plant growth regulation**, v. 32, n. 1, p. 31-52, 2013.

JEANNIN, I.; LESCURE, J.-C.; MOROT-GAUDRY, J.-F. The effects of aqueous seaweed sprays on the growth of maize. **Botanica marina**, v. 34, n. 6, p. 469-474, 1991.

KANNAPIRAN, E.; RAMKUMA, V. S. Isolation of phosphate solubilizing bacteria from sediments of Thondi coast, Palk Strait, Southeast Coast India. **Ann Biol Res**, v. 2, p. 157-163, 2011.

KAUFFMAN, G. L.; KNEIVEL, D. P.; WATSCHKE, T. L. Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass. **Crop science**, v. 47, n. 1, p. 261-267, 2007.

KHALID, A.; ARSHAD, M.; ZAHIR, Z. A. Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. **Journal of Applied Microbiology**, v. 96, n. 3, p. 473-480, 2004.

KHAN, A. G. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 18, n. 4, p. 355-364, 2005.

KHAN, Wajahatullah et al. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 4, p. 386-399, 2009.

KHAN, W. Bioassay to detect *Ascophyllum nodosum* extract-induced cytokinin-like activity in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, n. 3, p. 409-414, 2011.

KHAN, W. *Ascophyllum nodosum* Extract and Its Organic Fractions Stimulate Rhizobium Root Nodulation and Growth of *Medicago sativa* (Alfalfa). **Communications in soil science and plant analysis**, v. 44, n. 5, p. 900-908, 2013.

KIKUTI, H.; TANAKA, R. T. Produtividade e qualidade de sementes de feijão em função da aplicação de aminoácidos e nutrientes. In: **CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO**. 2005. p. 1062-1065.

KLARZYNSKI, Olivier et al. Sulfated fucan oligosaccharides elicit defense responses in tobacco and local and systemic resistance against tobacco mosaic virus. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 16, n. 2, p. 115-122, 2003.

KOHLER, Josef et al. Plant-growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi modify alleviation biochemical mechanisms in water-stressed plants. **Functional Plant Biology**, v. 35, n. 2, p. 141-151, 2008.

KUMAR, G.; SAHOO, D. Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var. Pusa Gold. **Journal of applied phycology**, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2011.

KUMARI, Reeta; KAUR, Inderdeep; BHATNAGAR, A. K. Effect of aqueous extract of *Sargassum johnstonii* Setchell & Gardner on growth, yield and quality of *Lycopersicon esculentum* Mill. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, n. 3, p. 623-633, 2011.

KUWADA, K.; ISHII, T.; MATSUSHITA, I.; MATSUMOTO, I.; KADOYA, K. Effect of seaweed extracts on hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and their infectivity on trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata*) roots. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science (Japan)**, 1999.

LEA, P. J. Asparagine in plants. **Annals of Applied Biology**, v. 150, n. 1, p. 1-26, 2007.

LEYVAL, C.; TURNAU, K.; HASELWANDTER, K. Effect of heavy metal pollution on mycorrhizal colonization and function: physiological, ecological and applied aspects. **Mycorrhiza**, v. 7, n. 3, p. 139-153, 1997.

LIANG, X.; ZHANG, L.; NATARAJAN, S. K.; BECKER, D. F. Proline mechanisms of stress survival. **Antioxidants & redox signaling**, v. 19, n. 9, p. 998-1011, 2013.

LIU, A. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. **Mycorrhiza**, v. 9, n. 6, p. 331-336, 2000.

LUZ, W. C. Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas e bioproteção. **Revisão Anual de Patologia de plantas**, Passo Fundo, v. 1, p. 1-50, 1996.

MAHAFEE, W. F.; KLOPPER, J. W. Application of plant growth promoting rizobacteria in sustainable agriculture. In: PANKHURST, C. E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V. V. S. R.; GRACE, P. R. (Ed.). **Soil biota: management in sustainable farming systems**. Victoria: CSIRO, 1994. p. 23-31.

MALBOOBI, M. A. Performance evaluation of potent phosphate solubilizing bacteria in potato rhizosphere. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 25, n. 8, p. 1479-1484, 2009.

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

MALIK, K. A.; MIRZA, M. S.; HASSAN, U.; MEHNAZ, S.; RASUL, G.; HAURAT, J.; NORMAND, P. The role of plant-associated beneficial bacteria in rice-wheat cropping system. **Biofertilisers in action. Rural industries research and development Corporation, Canberra**, p. 73-83, 2002.

MANCUSO, S.; AZZARELLO, E.; MUGNAI, S.; BRIAND, X. Marine bioactive substances (IPA extract) improve foliar ion uptake and water stress tolerance in potted *Vitis vinifera* plants. **Advances in Horticultural Science**, p. 156-161, 2006.

MATTNER, S. W.; WITE, D.; RICHES, D. A.; PORTER, I. J. & ARIOLI, T. The effect of kelp extract on seedling establishment of broccoli on contrasting soil types in southern Victoria, Australia. **Biological agriculture & horticulture**, v. 29, n. 4, p. 258-270, 2013.

MILTON, R. F. Liquid seaweed as a fertilizer. In: **Proc Int Seaweed Symp.** 1964. p. 428-431.

MRKOVACKI, N.; MILIC, V. Use of *Azotobacter chroococcum* as potentially useful in agricultural application. **Annals of Microbiology**, v. 51, n. 2, p. 145-158, 2001.

NABATI, D. A.; SCHMIDT, R. E.; PARRISH, D. J. Alleviation of salinity stress in Kentucky bluegrass by plant growth regulators and iron. **Crop science**, v. 34, n. 1, p. 198-202, 1994.

NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A & VIANELLO, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, n. 11, p. 1527-1536, 2002.

NORRIE, J.; KEATHLEY, J. P. Benefits of *Ascophyllum nodosum* marine-plant extract applications to Thompson Seedless grape production. In: **X International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production**

727. 2005. p. 243-248.

OMAR, M. N. A.; HAMOUDA, A. M.; MAHROUS, N. M. Evaluating the efficiency of inoculating some diazotrophs on yield and protein content of 3 wheat cultivars under graded levels of nitrogen fertilization. **Annals of Agricultural Science, Ain-Shams Univ.(Egypt)**, 1996.

PARK, K.-H.; LEE, C.-Y.; SON, H.-J. Mechanism of insoluble phosphate solubilization by *Pseudomonas fluorescens* RAF15 isolated from ginseng rhizosphere and its plant growth-promoting activities. **Letters in applied microbiology**, v. 49, n. 2, p. 222-228, 2009.

PARMAR, Priyanka; SINDHU, S. S. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions. **Journal of Microbiology Research**, v. 3, n. 1, p. 25-31, 2013.

PIMENTEL, J. P.; OLIVARES, F.; PITARD, R. M.; URQUIAGA, S.; AKIBA, F.; DORBEREINER, J. Dinitrogen fixation and infection of grass leaves by *Pseudomonas rubrisubalbicans* and *Herbaspirillum seropedicae*. **Plant and Soil**, v. 137, n. 1, p. 61-65, 1991.

RATHORE, S. S.; CHAUDHARY, D. R.; BORICHA, G. N.; GHOSH, A.; BHATT, B. P.; ZODAPE, S. T., e PATOLIA, J. S. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. **South African Journal of Botany**, v. 75, n. 2, p. 351-355, 2009.

RAYORATH, P. Rapid bioassays to evaluate the plant growth promoting activity of *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. using a model plant, *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. **Journal of Applied Phycology**, v. 20, n. 4, p. 423-429, 2008.

RIGGS, P. J.; CHELIUS, M. K.; INIGUEZ, A. L.; KAEPLER, S. M.; TRIPLETT, E. W. Enhanced maize productivity by inoculation with diazotrophic bacteria. **Functional Plant Biology**, v. 28, n. 9, p. 829-836, 2001.

RIOUX, L.-E.; TURGEON, S. L.; BEAULIEU, M. Characterization of polysaccharides extracted from brown seaweeds. **Carbohydrate polymers**, v. 69, n. 3, p. 530-537, 2007.

RIOUX, Laurie-Eve; TURGEON, Sylvie L.; BEAULIEU, Martin. Effect of season on the composition of bioactive polysaccharides from the brown seaweed *Saccharina longicruris*. **Phytochemistry**, v. 70, n. 8, p. 1069-1075, 2009.

RODRIGUEZ, H.; GONZALEZ, T.; SELMAN, G. Expression of a mineral phosphate solubilizing gene from *Erwinia herbicola* in two rhizobacterial strains. **Journal of Biotechnology**, v. 84, n. 2, p. 155-161, 2000.

RODRIGUEZ, H.; GONZALEZ, T.; GOIRE, I.; e BASHAN, Y. Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. **Naturwissenschaften**, v. 91, n. 11, p. 552-555, 2004.

RODRÍGUEZ, H.; GONZALEZ, T. e BASHAN, Y. Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth-promoting bacteria. **Plant and soil**, v. 287, n. 1-2, p. 15-21, 2006.

ŞAHİN, F.; ÇAKMAKÇI, R.; KANTAR, F. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N₂-fixing and phosphate solubilizing bacteria. **Plant and Soil**, v. 265, n. 1-2, p. 123-129, 2004.

SCHIAVON, M.; ERTANI, A.; NARDI, S. Effects of an alfalfa protein hydrolysate on the gene expression and activity of enzymes of the tricarboxylic acid (TCA) cycle and nitrogen metabolism in *Zea mays* L. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 56, n. 24, p. 11800-11808, 2008.

SHAHAROONA, B.; NAVEED, M.; ARSHAD, M. & ZAHIR, Z. A. Fertilizer-dependent efficiency of Pseudomonads for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Applied microbiology and biotechnology**, v. 79, n. 1, p. 147-155, 2008.

SHARMA, S. S.; DIETZ, K. J. The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. **Journal of experimental botany**, v. 57, n. 4, p. 711-726, 2006.

SHARMA, S. H. S. Biostimulant activity of brown seaweed species from Strangford Lough: compositional analyses of polysaccharides and bioassay of extracts using mung bean (*Vigna mungo* L.) and pak choi (*Brassica rapa chinensis* L.). **Journal of applied phycology**, v. 24, n. 5, p. 1081-1091, 2012.

SHEKHAR, Sharma HS et al. Brown seaweed species from Strangford Lough: compositional analyses of seaweed species and biostimulant formulations by rapid instrumental methods. **Journal of applied phycology**, v. 24, n. 5, p. 1141-1157, 2012.

SHENG, X. F.; HE, L. Y. Solubilization of potassium-bearing minerals by a wild-type strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. **Canadian journal of microbiology**, v. 52, n. 1, p. 66-72, 2006.

SIVASANKARI, S. et al. Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of *Vigna sinensis*. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 14, p. 1745-1751, 2006.

SOLDAL, T.; NISSEN, P. E. R. Multiphasic uptake of amino acids by barley roots. **Physiologia Plantarum**, v. 43, n. 3, p. 181-188, 1978.

SPINELLI, F.; FIORI, G.; NOFERINI, M.; SPROCATTI, M. & COSTA, G. A novel type of seaweed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. **Scientia horticulturae**, v. 125, n. 3, p. 263-269, 2010.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. John Wiley & Sons, 1994.

STIEGLER, J. Chris et al. Foliar absorption of various inorganic and organic nitrogen sources by creeping bentgrass. **Crop Science**, v. 53, n. 3, p. 1148-1152, 2013.

STIRK, W. A.; VAN STADEN, J. Comparison of cytokinin- and auxin-like activity in some commercially used seaweed extracts. **Journal of applied phycology**, v. 8, n. 6, p. 503-508, 1996.

STIRK, W. A. et al. Cytokinins in macroalgae. **Plant growth regulation**, v. 41, n. 1, p. 13-24, 2003.

- SYTAR, Oksana et al. Heavy metal-induced oxidative damage, defense reactions, and detoxification mechanisms in plants. **Acta physiologicae plantarum**, v. 35, n. 4, p. 985-999, 2013.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. In: **Fisiologia vegetal**. Artmed, 2009.
- TAO,G.C.; TIAN, S.J; CAI, M.Y & GUANG-HUI, X. I. E. Phosphate-solubilizing and-mineralizing abilities of bacteria isolated from soils. **Pedosphere**, v. 18, n. 4, p. 515-523, 2008.
- TARAKHOVSKAYA, E. R.; MASLOV, Yu I.; SHISHOVA, M. F. Phytohormones in algae. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 54, n. 2, p. 163-170, 2007.
- VERKLEIJ, F N. Seaweed extracts in agriculture and horticulture: a review.**Biological Agriculture & Horticulture**, v. 8, n. 4, p. 309-324, 1992.
- VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and soil**, v. 255, n. 2, p. 571-586, 2003.
- WATSON, R.; FOWDEN, L. The uptake of phenylalanine and tyrosine by seedling root tips. **Phytochemistry**, v. 14, n. 5-6, p. 1181-1186, 1975.
- WU, S. C. et al. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. **Geoderma**, v. 125, n. 1, p. 155-166, 2005.
- YAZDANI, M.; PIRDASHTI, H. Efficiency of co-inoculation phosphate solubilizer microorganisms (psm) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on micronutrients uptake in corn (*Zea mays* L.). **Int Res J Appl Basic Sci**, v. 2, p. 28-34, 2011.
- ZAIDI, S.; USMANI, S.; SINGH, B. R. & MUSARRAT, J.; Significance of *Bacillus subtilis* strain SJ-101 as a bioinoculant for concurrent plant growth promotion and nickel accumulation in *Brassica juncea*. **Chemosphere**, v. 64, n. 6, p. 991-997, 2006.
- ZHANG, X.; ERVIN, E. H. Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. **Crop Science**, v. 44, n. 5, p. 1737-1745, 2004.

ZHANG, Q.; ZHANG, J.; SHEN, J.; SILVA, A.; DENNIS, D. A. & BARROW, C. J. A simple 96-well microplate method for estimation of total polyphenol content in seaweeds. In: **Eighteenth International Seaweed Symposium**. Springer Netherlands, 2006. p. 219-224.

ZHUANG, Xuliang et al. New advances in plant growth-promoting rhizobacteria for bioremediation. **Environment international**, v. 33, n. 3, p. 406-413, 2007.

ZODAPE, S. T.; GUPTA, A.; BHANDARI, S. C.; RAWAT, U. S.; CHAUDHARY, D. R.; ESWARAN, K. & CHIKARA, J. Foliar application of seaweed sap as biostimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **J Sci Ind Res**, v. 70, p. 215-219, 2011.

ZODAPE, S. T.; KAWAKHE, V. J.; PATOLIA, J. S. & WARADE, A. D. Effect of liquid seaweed fertilizer on yield and quality of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). **J Sci Ind Res**, v. 67, p. 1115-1117, 2008.

PAULO ROBERTO FÁVERO DE FRAVET
Engenheiro Agrônomo, Msc. Professor no Centro Universitário do Planalto de Araxá -
UNIARAXÁ. E-mail: paulofravet@uniaraxa.edu.br

1. Introdução

Segundo dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2017), a economia brasileira voltou a crescer após oito trimestres seguidos de queda. Nos três primeiros meses de 2017, o Produto Interno Bruto nacional (PIB) avançou 1,0% em relação ao 4º trimestre do ano passado.

O agronegócio possui papel fundamental neste crescimento, sendo responsável por 23% do PIB nacional e empregando cerca de 35% da mão de obra ativa do país (CNA, 2016). O setor registrou sua maior expansão em mais de 20 anos e foi destaque entre os setores calculados pelo IBGE, com salto de 13,4% em relação ao trimestre anterior. A safra recorde de grãos ajudou a impulsionar este resultado que corresponde ao maior crescimento do setor desde o 4º trimestre de 1996.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - FAO (2012), até 2050, a população mundial crescerá 34%, chegando a marca dos 9 bilhões de habitantes, a maior parte desse crescimento dar-se-á nos países em desenvolvimento. Essa população também será mais rica e mais urbana com cerca de 70% das pessoas vivendo em regiões urbanizadas (contra os 49% atuais). Alimentar essa população propõe o desafio de aumentar a produção de alimentos em 70%, isso sem considerar áreas para produção de biocombustíveis.

A geografia e a abundância de recursos naturais fazem do Brasil um país estratégico para a agropecuária mundial, sendo, hoje, um dos principais produtores e exportadores de produtos agropecuários do mundo. Estimativas do ministério da agricultura preveem aumento

de 23% na produção brasileira de grãos até 2021, com expansão de apenas **9.5% da área cultivada**. Portanto, para que o empresário rural possa se manter sempre à frente deste crescimento econômico, suprindo a necessidade mundial por alimentos, é necessário que ele se profissionalize cada vez mais, tomando decisões sobre informações obtidas de maneira racional através de metodologias corretas.

O valor da terra e a forma como ela é distribuída e negociada tem influência direta nos direcionadores econômicos do agronegócio exigindo, portanto, técnicas mais complexas para apuração de seu valor de mercado. Os preços no mercado de terras brasileiras já refletem esta situação com seus preços médios, segundo dados da Fundação Getúlio Vargas, FGV-DADOS (2016), aumentando de 227% entre 2003 e 2016 conforme mostra o gráfico 1.

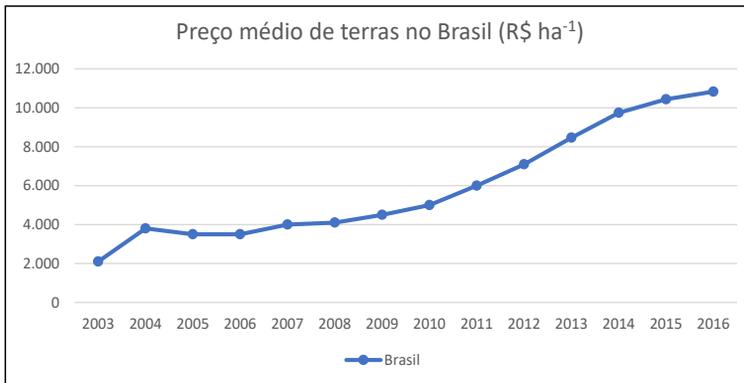


Gráfico 1. Aumento do preço médio da terra, em R\$ ha⁻¹ (fonte: FGV-DADOS-2016)

Maiores preços da terra (conseqüentemente, maior capital investido pelo proprietário) acarreta um aumento do valor do seu arrendamento, forçando o empresário rural a ter conhecimentos econômicos e financeiros para que possa optar corretamente entre a aquisição de um imóvel rural ou o seu arrendamento, o que reflete em maior ou menor potencial de investimento na terra na atividade agropecuária.

Este trabalho foi embasado no livro *Avaliações de Imóveis Rurais – Norma NBR 14.653-3 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Comentada*, de autoria do Eng. Agrônomo Carlos Augusto

Arantes e do Eng. Civil Marcelo Suarez Saldanha e em experiências profissionais por mim adquiridas durante realização de trabalhos sobre o tema. Visa a apresentar aos leitores, de forma resumida e prática, as metodologias indicadas pela ABNT NBR 14.653-3 para Avaliação de Imóveis Rurais, despertando seu interesse pelo aprofundamento no assunto.

2. Conceito de Imóvel rural

A ABNT descreve imóvel rural como sendo uma área contínua de qualquer tamanho, beneficiada ou não, qualquer que seja sua localização, que se destine à preservação da natureza ou a exploração extrativa florestal, agrícola, pecuária ou agroindustrial, quer através de planos públicos de valorização, quer através da iniciativa privada.

Deve-se destacar que um imóvel para ser classificado como rural, não precisa necessariamente estar localizado na área rural do município, sendo comum encontrarmos imóveis rurais dentro do perímetro urbano do município.

3. Avaliação de Imóveis Rurais

A avaliação de imóveis rurais é um campo da Eng. Agrônoma que tem como objetivo a análise técnica utilizada para definir o valor do imóvel, sendo o conhecimento agrônomo ferramenta fundamental para este trabalho. O avaliador rural deve ter um amplo conhecimento de economia, tendências de valor de terras, mercado de *commodities*, produção e colheitas, composição e produtividade de solos, recursos hídricos, conservação de solos e meio ambiente, tanto quanto peculiaridades do financiamento rural. O que marca um avaliador rural profissional é a capacidade de entender a cadeia de influências que geram o valor da terra e a habilidade de analisar e relacionar com a propriedade em estudo (LIMA, 2005).

A princípio, pressupõe sempre a determinação do valor do imóvel como um todo, estando aí incluídas as benfeitorias reprodutivas, não reprodutivas (construções), semoventes, máquinas e implementos agrícolas, como definidas na NBR 14653-3 - Avaliação de Bens – Imóveis Rurais. Os métodos são dotados por essa mesma norma, a saber, os diretos (comparativo e de custo) e os indiretos (de renda e

residual), com peculiaridades de aplicação a cada componente do valor, ou seja, terra nua, construções, instalações, silos, culturas etc.

O processo de avaliação de qualquer imóvel implica em entender os atributos que lhe geram valor e, para tanto, é necessário conhecer o mesmo. O procedimento exige a coleta de uma vasta gama de informações sobre o imóvel, o mercado, o objetivo da avaliação entre outras. A terra, muitas vezes, é entendida e avaliada como um bem imóvel qualquer – um edifício ou uma residência - no entanto, o imóvel rural possui características peculiares que possibilitam a geração de riqueza sem o trabalho ou a interferência do homem. Ao contrário de bens imóveis urbanos, por exemplo, em que a inexistência de manutenção gera depreciação do ativo, o imóvel rural pode criar riqueza como a recuperação natural da vegetação em determinada região.

4. Objetivo da avaliação

O objetivo principal das avaliações é a determinação técnica do valor de mercado do imóvel rural, sendo que neste trabalho serão considerados objetos de avaliação a terra nua, benfeitorias, máquinas e equipamentos, culturas, semoventes e áreas de reserva florestal.

Surge, então, um aspecto bastante complexo que é o conceito de valor. De acordo com Moreira (1994), valor de um bem decorre sempre de sua utilidade, entendida esta como a sua capacidade de atender a uma necessidade, a um desejo e, até mesmo, a um capricho. A NRB 14653-1 determina que o valor a ser determinado corresponda sempre àquele que, num dado instante, é único, qualquer que seja a finalidade da avaliação. Este valor, também, é determinado pela lei da oferta e da procura, que estabelece que quanto maior a necessidade, maior a procura e maior o valor. E, quanto menor a quantidade de bens disponíveis no mercado, maior a raridade e maior seu valor.

O valor não pode ser confundido com “preço”, pois este representa a quantidade de dinheiro pela qual se efetua uma transação comercial. Quando existe um equilíbrio entre os fatores econômicos e sociais que ocorrem numa operação imobiliária, o preço pago pelo imóvel deve representar o valor deste imóvel. Isto nem sempre ocorre, pois, interesses pessoais, representados pelos desejos ou necessidades, podem conduzir a preços maiores ou menores do valor de mercado.

5. Finalidades da avaliação de imóvel rural

São várias as situações que se fazem necessárias à avaliação de um imóvel rural, entre elas podemos citar:

- I. Compra e venda:** Avaliação do imóvel rural com o objetivo de compra ou de venda do mesmo.
- II. Partilhas:** Avaliação com o objetivo de divisão do imóvel por motivos como herança, sociedade, etc.
- III. Garantias bancárias:** Avaliação do imóvel rural para fins de garantias de empréstimos bancários, financiamentos, hipotecas, etc
- IV. Fiscal:** Determinação do valor de mercado do imóvel rural objetivando atualizar ou compor o demonstrativo patrimonial para Imposto de renda, Imposto Territorial Rural (ITR), etc
- V. Perícias judiciais:** Determinar o valor de mercado do imóvel rural para fins de desapropriações, inventários, cobranças hipotecárias, etc.

6. Normas e Legislação

É necessário que o avaliador conheça as normas e legislações específicas para cada tipo de trabalho a ser realizado. Para isto, existem normas e regulamentos do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA), Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA), ABNT, leis municipais, estaduais, federais, etc.

As atribuições profissionais do engenheiro agrônomo, arquiteto e do engenheiro civil entre outros, consistem em estudos, análises, avaliações, vistorias, perícias, pareceres e divulgação técnica, sempre respeitando a Resolução nº 218 do CONFEA, que discrimina as atividades das diferentes modalidades profissionais.

Outras resoluções do CONFEA são as de números 205 e 307, que dispõem sobre o Código de ética Profissional e a necessidade do uso da ART – Anotação de Responsabilidade Técnica, respectivamente.

A ABNT Seditou várias normas sobre avaliação, entre elas:

- NBR 14653-1 – Avaliação de bens Parte 1: Procedimentos Gerais
- NBR 14653-2 – Avaliação de bens Parte 2: Avaliação de imóveis urbanos

- **NBR 14653-3 – Avaliação de bens Parte 3: Avaliação de imóveis rurais**
- NBR 14653-4 – Avaliação de bens Parte 4: Empreendimentos;
- NBR 14653-5 – Avaliação de bens Parte 5: Máquinas, equipamentos, instalações e bens industriais em geral;
- NBR 14653-6 – Avaliação de bens Parte 6: Recursos naturais e ambientais;
- NBR 14653-7 – Avaliação de bens Parte 7: Patrimônios históricos.

7. Métodos de Avaliação

A aplicação da metodologia mais adequada para realização de um trabalho avaliatório depende fundamentalmente das condições mercadológicas com as quais se defronta o avaliador, pelas informações coletadas neste mercado, bem como pela natureza do serviço que pretende desenvolver.

As principais metodologias estão classificadas em dois grandes grupos, os métodos diretos e os indiretos. No primeiro, estão incluídos entre outros o Método Comparativo de Dados de Mercado, o Método comparativo direto de custo e o Método da quantificação de custos. Os Métodos Indiretos são o Método Involutivo, o Método Evolutivo e o Método da Capitalização da Renda (Valor Potencial). A seguir, serão citados os principais métodos utilizados.

8. Método comparativo de dados de mercado

Também conhecido como método comparativo de vendas e método direto. É o procedimento avaliatório mais utilizado, identifica o valor de mercado do bem por meio de tratamento técnico dos atributos dos elementos comparáveis, constituintes da amostra. Neste método, o valor da propriedade avalianda, ou de alguma de suas partes, é determinado através da comparação entre dados de mercado relativos a propriedades de características semelhantes a ele.

Sua aplicação desenvolve-se através das seguintes etapas:

I. Caracterização da propriedade avaliada;

II. Pesquisa de dados relativos a propriedades semelhantes à propriedade avaliada;

III. Cálculo do valor da propriedade avaliada.

Após o levantamento de dados da propriedade a ser avaliada, inicia-se a pesquisa e coleta de dados das propriedades que influenciam a formação dos valores na região. Os seus atributos e características devem ser ponderados. Para que esta comparação entre propriedades seja justa, deve-se fazer a homogeneização das mesmas, sendo que para isto deve-se considerar os seguintes fatores:

I. Fator Elasticidade da Oferta (ou Fator Oferta)

Este fator refere-se à diferença (quase sempre para mais) entre o valor anunciado como de oferta (venda) de um imóvel e seu valor de venda de fato realizada.

II. Fator de Capacidade de Uso da Terra

Um das variáveis mais importantes na composição do valor da terra nua de um imóvel rural é a capacidade de uso da terra. O Valor da Terra é função direta de sua capacidade de produzir renda e o potencial de produção de renda é função direta de sua capacidade de uso. (DESLANDES, 2002). Portanto, o avaliador necessita de conhecimentos técnicos e deverá observar características físicas importantes para a determinação do valor do imóvel rural.

As normas atuais chegaram à conclusão de que o mais adequado é a utilização da classificação por classes de capacidade de uso.

Para homogeneização das propriedades comparadas quanto à capacidade de uso da terra, montou-se o seguinte quadro:

Quadro 1: Capacidade de uso do solo e sua nota para cálculos de homogeneização de propriedades. IBGE (2013).

Classe do solo	Nota
I	100
II	95
III	75
IV	55
V	50
VI	40
VII	30
VIII	20

III.Fator de Acesso/Localização

Durante a pesquisa para obter se as amostras, principalmente no meio rural, é muito comum o avaliador se deparar com diferentes acessos às propriedades e, também, a situação destas propriedades em relação aos polos da região. Por isso, este fator visa a “homogeneizar as diferenças quanto aos diversos acessos aos imóveis, comparando-os pelas diferentes distâncias, tipos de estradas etc.

9. Método involutivo

Identifica o valor de mercado do bem, alicerçado no seu aproveitamento eficiente, baseado em modelo de estudo de viabilidade técnico-econômica, **mediante hipotético empreendimento compatível com as características do bem e com as condições do mercado no qual está inserido**, considerando-se os cenários viáveis para execução e comercialização do produto. **Geralmente, utilizados para áreas urbanizáveis ou influenciadas pela expansão do perímetro urbano, onde as áreas rurais sofrem uma valorização acima do normal do mercado.**

A fórmula mais utilizada para cálculo de valores pelo método involutivo é:

$$X = \frac{Su \cdot q - Dt}{1 + L}$$

Onde:

Su = Área útil do empreendimento;

q = determinação dos preços dos lotes vizinhos ao empreendimento;

L = lucro do empreendedor;

Dt = Cálculo das despesas totais previstas para custear as obras de urbanização e de implantação do loteamento

X = valor / área

10. Método evolutivo

Identifica o valor do bem pelo somatório dos valores de seus componentes. Caso a finalidade seja a identificação do valor de mercado, deve ser considerado o fator de comercialização.

$VTI = VTN + \text{Benfeitorias} + \text{Culturas} + \dots$

Onde:

VTI = Valor total do imóvel

VTN = Valor da terra nua

11. Método da capitalização da renda

Identifica o valor do bem, **com base na capitalização presente da sua renda líquida prevista**, considerando-se os cenários viáveis. Utiliza-se para tanto uma renda líquida real.

De forma simples, este método consiste da renda líquida por hectare obtida no imóvel, dividida pela taxa de juros anual do mercado, resultando no valor final por hectare do referido imóvel.

$$\text{Valor do imóvel (R\$ ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Renda líquida por hectare}}{\text{Taxa anual de juros}}$$

12. Método comparativo direto de custo

Identifica o valor de mercado do bem por meio de tratamento técnico dos atributos dos elementos comparáveis, constituintes do bem avaliando.

É um método mais utilizado para avaliação de benfeitorias.

13. Método da quantificação de custo

Identifica o custo do bem ou de suas partes por meio de orçamentos sintéticos ou analíticos a partir das quantidades de serviços e respectivos custos diretos e indiretos.

Método mais utilizado para avaliar benfeitorias, culturas...

14. Especificações das avaliações

A especificação de um imóvel rural está relacionada tanto com o empenho do avaliador, como com o mercado e as informações dele extraídas.

O grau de fundamentação de uma avaliação tem por objetivo a determinação do empenho no trabalho avaliatório, e o grau de precisão de uma avaliação depende exclusivamente das características do mercado e da amostra coletada.

14.1 Quanto à fundamentação

Os laudos de avaliação são classificados quanto à fundamentação (grau I, II e III) de acordo com a soma dos pontos em função das informações coletadas, sendo o grau III o de maior fundamentação.

Para isso são contabilizados:

- Número de dados de mercado utilizados
- Qualidade destes dados
- Número de visitas nos dados de mercado
- Critério adotado para avaliar instalações
- Critério adotado para avaliar produções vegetais, etc

São obrigatórios em qualquer grau:

- Descrever a metodologia e critério adotado para colher os dados.
- Vistoria ao imóvel avaliando
- Identificação das fontes
- No mínimo 3 dados de mercado

14.2 Quanto à precisão

As avaliações de imóveis rurais serão especificadas quanto à precisão somente quando for utilizado o método comparativo direto de dados de mercado conforme quadro 2.

Quadro 2 – Graus de precisão da avaliação

Descrição	Grau		
	III	II	I
Amplitude do intervalo de confiança de 80% em torno do valor central da estimativa.	< 30%	30% a 50%	> 50%

15. Considerações finais

A avaliação de imóveis rurais é um ramo amplo que possui muitas aplicações, tornando-se uma área cada vez mais interessante para o Eng. Agrônomo, pois a profissionalização do agronegócio exige, a cada dia, informações mais técnicas e precisas para a tomada de decisão correta.

Devido à complexidade da avaliação de imóveis rurais, muitos “avaliadores” optam, portanto, pela subjetividade nesta avaliação. Porém, avaliações mal elaboradas ou subjetivas podem levar a vários inconvenientes, aumentar os riscos e por fim acarretar grandes perdas financeiras.

Há uma escassez de profissionais que aliam a parte técnica da agronomia, com a metodologia e conhecimentos avaliativos de imóveis rurais. Portanto, para que a avaliação de um imóvel rural tenha credibilidade e validade profissional é preciso que seja executada seguindo a metodologia correta da ABNT NBR 14.653-3 aliada a boa fundamentação e boa precisão, juntamente com conhecimentos técnicos agrônômicos.

16. Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14653-1: **Avaliação de bens – Procedimentos Gerais**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14653-3: **Avaliação de bens - Imóveis Rurais**. Rio de Janeiro, 2004.

ARANTES, C.A. **Curso Avaliação de Imóveis Rurais**. Krozai. Belo Horizonte, 2013.

ARANTES, C.A.; Saldanha, M.S. **Avaliações de Imóveis Rurais – Norma NBR 14.653-3 – ABNT comentada**. São Paulo: Leud, 2009.

CENTROS DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA), **Série Histórica do PIB do Agronegócio no Brasil**. Disponível em < <http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/> > acesso em 03 de setembro de 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA AGRIULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA), **Dados do PIB agropecuário do Brasil**. Disponível em <<http://www.canaldoprodutor.com.br/area/17/Assuntos%20econ%C3%B4micos#wrapper>>, acesso em 11 de setembro de 2017.

DESLANTES, C.A. **Avaliação de Imóveis Rurais**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Série histórica do índice de preços de alimentos (Food Price Index)**, disponível em < <http://www.fao.org/worldfoodsituation/wfs-home/foodpricesindex/en/> >, acesso em 11 de setembro de 2017.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Série de preços de terra de lavouras**. Disponível em < <http://www.fgvdados.fgv.br> >, acesso em 11 de setembro de 2017.

GUSMÃO, P.S. **Métodos de Avaliação de Propriedades Agrícolas No Brasil**. São Paulo: USP, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manuais Técnicos em Geociências – Manual Técnico de Uso da Terra**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores**. Disponível em < https://ww2.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#indicadores > , acesso em 01 de outubro de 2017.

LIMA, M. R. **Avaliação de Propriedades Rurais: Manual básico**. São Paulo: Leud, 2005.

SILVA, R.R. **Avaliação de imóveis rurais e sua importância na constituição de garantias em operações de crédito bancário**. Especialize. Porto Alegre, v. 1, n. 13, p. 1-18, jul. 2017.

YAMAMOTO, L.K. **Avaliação de Imóveis Rurais: Apostila**. São Paulo:2012

TATIANA ARANTES AFONSO VAZ

Bióloga, Doutora em Engenharia Florestal. Professora do Programa de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais do Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Bambuí. E-mail: tatiana.arantes@gmail.com

RENATA OLIVEIRA LUÍS*

LÍLIAM REIS SOUZA*

DIEGO VAZ GONDIM FARIA*

ÉLIAS VASCONCELOS RESENDE*

GERALDO DE OLIVEIRA LIMA EVANGELISTA*

MÁRCIA APARECIDA SILVA*

MARCELO PABLO BORGES LOPES*

SANDRA PEREIRA CAMPOS CARDOSO*

*Alunos do Programa de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais do Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Bambuí.

1. Introdução

1.1 A importância da conservação de sementes nativas

Esforços globais têm sido feitos com o objetivo de conservar as espécies de plantas, não só aquelas com valor econômico, mas também aquelas com valor ecológico e que possuem diversidade genética, as espécies nativas. Desde o ano de 2002, diversos países têm aderido à Estratégia Global para Conservação de Plantas (Global Strategy for Plant Conservation - GSPC), que institui metas e objetivos para a conservação das espécies nativas, incluindo aquelas espécies consideradas “parentes selvagens” das espécies cultivadas. Com isso, objetiva-se manter um banco de material genético capaz de suprir as necessidades humanas e ambientais em caso de perda de espécies cultivadas ou não por fatores bióticos e abióticos.

Falando-se, especificamente, das espécies nativas, estes bancos servirão como subsídio para os programas de recuperação/restauração de áreas degradadas, tão comuns na atualidade devido à exploração descontrolada dos recursos naturais nos últimos anos. Dentre todas as dificuldades inerentes ao processo de restauração florestal, produzir

mudas nativas de qualidade talvez seja o fator mais limitante ao sucesso desses empreendimentos. Desde a coleta das sementes até a muda pronta para o plantio, encontramos uma gama de comportamentos fisiológicos das espécies que limitam os viveiristas em questão de diversidade e quantidade de material produzido. Em visitas aos viveiros de mudas nativas é comum perceber que a produção é concentrada naquelas espécies que produzem sementes de fácil coleta e armazenamento, sem dormência e, geralmente, tolerantes à dessecação. Nota-se que mesmo os viveiristas desenvolvendo técnicas para aumentar a germinação das sementes, como por exemplo, como métodos para superação de dormência, essas raramente são difundidas ou registradas, mantendo-se apenas no conhecimento popular.

De uma maneira bem sucinta, podemos dividir as sementes em tolerantes e sensíveis à dessecação. Sementes que retomam seu metabolismo normal após serem secas até 5-12% de seu conteúdo de água e toleram ser armazenadas em temperaturas abaixo de zero são chamadas de ortodoxas. Sementes que não sobrevivem à secagem, mesmo que em altos níveis de umidade (15-20%) e não podem ser armazenadas em temperaturas baixas, são chamadas de recalcitrantes (Roberts, 1973). Existe ainda a classe de sementes intermediárias, que toleram uma perda significativa de água, entre 12-15% de umidade, porém, não sobrevivem em armazenamento em temperaturas sub-zero (Figura 1) (Ellis et al., 1990). É claro que estas classificações foram criadas para facilitar o manejo das sementes, porém, as espécies se comportam em um *continuum* desde espécies extremamente recalcitrantes até aquelas extremamente ortodoxas (Farrant et al., 1988). Nos ecossistemas tropicais encontramos uma taxa de 10 a 50% das espécies, produzindo sementes recalcitrantes (Tweddle et al., 2003), portanto, não podem ser conservadas pelos métodos convencionais de armazenamento estipulados pela Organização das Nações Unidas pela Agricultura e Alimentação - FAO (FAO/IPGRI, 1994). Algumas pesquisas têm sido feitas com o intuito de conservar material genético de espécies não ortodoxas, algumas serão apresentadas ao longo deste capítulo.

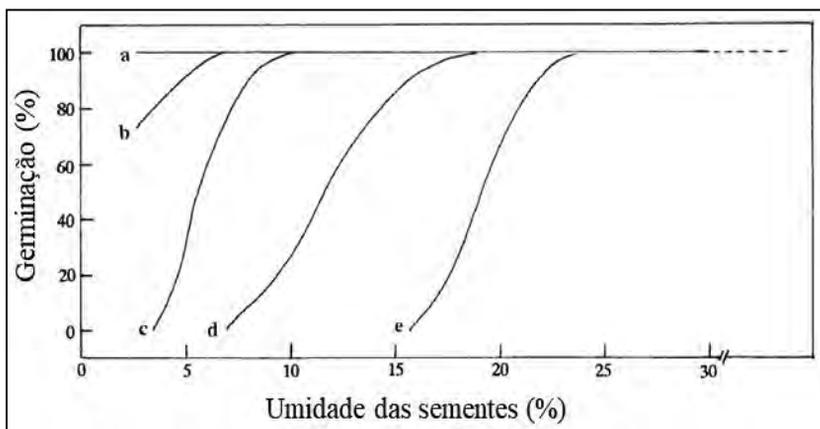


Figura 1. Padrões de tolerância à dessecação de sementes de espécies ortodoxas (a), intermediárias (c) e recalcitrantes (e). Os padrões (b) e (d) podem ser encontrados tanto em sementes ortodoxas quanto intermediárias, respectivamente, em lotes colhidos prematura ou tardiamente, ou que foram tratadas de maneira incorreta após a coleta. O padrão (e) mostra o comportamento de sementes altamente recalcitrantes durante a secagem. Adaptado de Hong e Ellis, 1996.

2. Requisitos para o armazenamento de sementes

A técnica ideal de armazenamento permite com que as sementes mantenham sua germinabilidade, vigor e qualidade fisiológica ao longo do tempo. Estas técnicas sofrem variações na medida em que os comportamentos das diferentes espécies são levados em consideração. As pesquisas com espécies nativas têm como objetivo adaptar ou criar métodos tecnológicos adequados para cada espécie individualmente. Para que estes métodos sejam utilizados com sucesso, é importante que as sementes se encontrem em seu ponto de maturidade fisiológica adequado, possuam todas as suas partes constituintes em perfeito estado, não estejam infectadas com pragas ou doenças e não tenham sofrido danos durante a coleta.

3. Tecnologias de conservação de sementes tolerantes à dessecação

As sementes com características de tolerância à dessecação são classificadas como ortodoxas e intermediárias. Além de serem tolerantes a determinados níveis de desidratação dependem desse processo para desencadear a germinação (Barbedo e Marcos Filho, 1998). Como já

foi dito anteriormente, as espécies ortodoxas conseguem retomar seu metabolismo normal depois de reidratadas, mesmo quando secas até conteúdos de água muito baixos (5 a 12%), e serem armazenadas em temperaturas abaixo de zero. Para estas espécies, a redução do teor de água imediatamente após a coleta é um aspecto importante quando apresentam teor de umidade inadequado ao armazenamento. Este protocolo pode ampliar a longevidade das sementes, reduzindo as reações metabólicas e dificultando a ação de microrganismos e insetos prejudiciais à sua conservação (Carvalho e Nakagawa, 2000).

Além da diminuição do conteúdo de água, a diminuição na temperatura é fator importante no sucesso do armazenamento de sementes ortodoxas, pois reduz a velocidade das reações químicas pertencentes ao metabolismo normal das sementes, além de evitar a proliferação de fungos e micro-organismos nas amostras armazenadas (Roberts, 1973). Para espécies ortodoxas, podemos aplicar a “regra do polegar” de Harrington (1960) que afirma que a cada 1 ponto percentual de decréscimo no conteúdo de água da sementes e diminuição de 5 °C na temperatura de armazenamento das amostras, a longevidade das sementes dobra. Esta regra não se aplica a todas as espécies tolerantes à dessecação, tendo em vista que as espécies intermediárias, mesmo sobrevivendo à secagem até baixos conteúdos de água, não toleram armazenamento em temperaturas próximas ou abaixo de zero. Assim, bancos de sementes no mundo todo usam como padrão (considerando as especificidades de cada local) secar as sementes até 5 a 12% de umidade, acondicioná-las em recipientes herméticos ou semi-permeáveis, e armazená-las em temperaturas entre -20 à +15 °C.

A secagem das sementes pode ser feita de forma natural em ambiente sem temperatura ou umidade relativa do ar controladas, ou de forma artificial, controlando-se as condições ambientais durante o processo. Em alguns viveiros que utilizam métodos de secagem natural, os frutos/sementes são expostos ao sol, o que traz prejuízos tanto na qualidade do lote quanto em sua longevidade. A secagem natural, quando optada, deve ser feita em local arejado e protegido da luz solar. A secagem artificial é o método mais utilizado e adequado, pois evita que fatores externos interfiram na qualidade final do lote de sementes. Esta pode ser feita em sala climatizada entre 5 a 20 °C e umidade

relativa do ar por volta de 30 a 60%, ou em recipientes que contenham substâncias higroscópicas capazes de criar atmosferas com diferentes umidades relativas, como por exemplo, sílica, sal de lítio, nitrato de potássio, etc. É importante ressaltar que cada um dos métodos citados apresentará uma diferente velocidade (taxa) de secagem, desde muito rápida, por exemplo, usando sílica gel, até muito lenta quando utilizado o sal de lítio. É possível que as espécies respondam diferencialmente às diferentes taxas de secagem, podendo ser usado como exemplo, a espécie *Magnolia ovata* que tolera maior perda de água se utilizada secagem lenta (José et. al, 2011). Acredita-se que a secagem lenta para espécies ortodoxas e intermediárias seja mais adequada, pois faz com que os mecanismos de tolerância à dessecação inerente às espécies sejam devidamente ativados, protegendo as sementes de qualquer dano que pode ser causado durante o processo.

Após a secagem, as sementes devem ser devidamente identificadas e acondicionadas em recipientes específicos para a devida separação dos lotes. O armazenamento em recipientes à prova de umidade (impermeáveis ou semi-permeáveis) é uma opção viável do ponto de vista financeiro, pois diminui as trocas gasosas entre sementes e ambiente, aumentando o tempo de armazenamento. Podemos citar como recipientes adequados, as embalagens de vidro e plástico, desde que hermeticamente fechadas. Alguns bancos de sementes usam embalagens de papel/papelão, porém, nestes casos, a longevidade das sementes pode ficar comprometida se as condições ambientais de temperatura e umidade relativa do ar não forem adequadas para manutenção de um baixo metabolismo nas sementes. Problemas com refrigeração ou flutuações na umidade relativa do ar podem acarretar gastos metabólicos para as sementes que estejam estocadas, diminuindo o tempo de armazenamento.

Depois de devidamente secas e embaladas, as sementes devem ser acondicionadas em temperaturas adequadas. Lembrando que as espécies ortodoxas podem e, preferencialmente, devem ser armazenadas em temperaturas abaixo de zero, são utilizados freezers, deep freezers, câmaras frias, dentre outros, para manter a temperatura entre 0 e -20°C. As espécies intermediárias devem ser armazenadas em temperaturas acima de zero, sendo frequentemente estocadas em geladeiras, salas climatizadas,

câmaras do tipo B. O. D., etc, entre 10 e 20 °C. O efeito benéfico das baixas temperaturas já foi discutido anteriormente neste tópico.

É incontestável que o teor de umidade das sementes e a temperatura de armazenamento são fatores cruciais para conservação da viabilidade e incremento de sua longevidade. Armazenamento feito de maneira adequada diminui ocorrência de processos oxidativos, com consequente degradação de lipídeos estruturais, formação de radicais livres, desnaturação enzimática, desestabilização das membranas celulares e danos ao material genético, eventos que causariam redução ou perda da viabilidade de sementes (Costa, 2009). Fonseca e Silva (2005) verificaram que as melhores condições para armazenamento de sementes de *Passiflora edulis* foi a associação entre o conteúdo de água de 7% e temperatura de 10 °C, permitindo seu armazenamento por 350 dias. Vaz et al. (2015). Verificaram, também, que sementes de *Cordia trichotoma* toleram a secagem até 8% de umidade e podem ser armazenadas por até 4 anos à 5 °C. Para esta espécie, uma maior redução no conteúdo de água acarreta em perda da viabilidade das sementes. Gomes (2011) afirma que a espécie *Acca sellowiana*, nativa do cerrado, apresenta tolerância significativa à secagem, mantendo seu potencial fisiológico após atingir teores de umidade de 12 a 5%, mas quando submetidas ao armazenamento em baixas temperaturas, em torno de 8° C, por um período superior a 30 dias, tiveram o potencial germinativo drasticamente reduzido. Mayrinck et al. (2016) e Carvalho et al. (2006) estudaram o comportamento de diversas espécies nativas do cerrado e encontraram diferentes respostas à secagem e armazenamento, sendo mais um indicativo de que, para conservar espécies nativas, pesquisas devem ser feitas de modo a conhecer os comportamentos individuais de cada lote. Este fato torna a pesquisa com sementes nativas imprescindível para o sucesso dos empreendimentos de conservação em bancos de germoplasma e na recuperação de áreas degradadas.

4. Tecnologias de conservação de sementes sensíveis à dessecação

Determinados ecossistemas tropicais como as florestas ombrófilas, semi decíduas, matas ciliares, dentre outros, podem apresentar até 50% das espécies produzindo sementes recalcitrantes (Tweddle et al., 2003). Armazenar efetivamente essas espécies é imperativo para que se consiga

resguardar a biodiversidade tropical em bancos de germoplasma. Como foi discutido anteriormente, não é possível armazenar sementes recalcitrantes por métodos convencionais devido à impossibilidade de diminuir seu conteúdo de água sem comprometer a viabilidade do lote. O alto conteúdo de água impede que essas sementes sejam expostas a baixas temperaturas devido à formação de cristais que desestruturam e rompem as células. Algumas sementes recalcitrantes, como demonstrado por Vaz et al. (2016), demonstram desgaste metabólico quando expostas a baixas temperaturas, mesmo que acima de zero, perdendo rapidamente sua viabilidade.

Atualmente, o método mais eficiente para conservação de sementes recalcitrantes é a criopreservação. Este método consiste em imergir sementes inteiras ou embriões em nitrogênio líquido (-196 °C) para que haja imediato congelamento. O congelamento ultra rápido impede a formação de cristais dentro das células e mantém o tecido vegetal em estado metabólico praticamente estacionário. Para que estas amostras sejam novamente utilizadas para produção de mudas, o descongelamento deve ser feito de forma gradativa, em um crescente de temperatura até que se atinja a temperatura ideal para cultivo das plântulas. Apesar de ser um método caro, já é utilizado em alguns centros de conservação de sementes cultivadas como o CENARGEN-EMBRAPA, ou de sementes nativas como o Kew Gardens, na Inglaterra.

5. Panorama mundial da conservação de sementes

Existem hoje, aproximadamente, 1750 bancos de germoplasma espalhados pelo mundo (FAO, 2010), objetivando a conservação da diversidade de plantas, especialmente, plantas com potencial econômico. Muitos destes bancos de germoplasma, também, armazenam sementes de espécies nativas em menor proporção e esta iniciativa tem aumentado ao longo dos anos. O Brasil possui o quarto maior acervo de germoplasma do mundo, armazenando 150 mil amostras de aproximadamente 700 espécies cultivadas e suas variantes selvagens, apenas nas instalações da EMBRAPA. Outros bancos de sementes menores armazenam espécies nativas brasileiras, como o Laboratório de Sementes Florestais da Universidade Federal de Lavras, que conta com um acervo de aproximadamente 400 espécies arbóreas nativas.

O maior banco de sementes do mundo é situado em Svalbard-Noruega e é chamado de Doomsday Vault (ou cofre do juízo final). Foi criado em fevereiro de 2008, com custo inicial de 9 milhões de dólares e 150 mil dólares de custeio mensal. Esse banco tem como objetivo armazenar cultivares de plantas com valor econômico e cultural, em quantidade e qualidade suficientes para resguardar as populações em caso de desastres ambientais. As sementes são depositadas pelos países parceiros, que mantêm o direito de uso do material vegetal e só podem ser retiradas pelos mesmos em caso de perda de variedades. Este cofre foi aberto uma única vez, em 2015, devido à guerra na Síria, em que campos inteiros de arroz foram destruídos e uma variedade importante para a região foi perdida.

O Royal Botanic Garden-KEW, na Inglaterra possui o maior banco de sementes de espécies nativas do mundo. Através do Millennium Seed Bank Project, este centro de pesquisa coleta e armazena espécies nativas do mundo todo com o intuito de preservação de material genético vegetal que vem sendo perdido com o uso indiscriminado da terra e pelas mudanças climáticas. Este grupo tem como objetivo conservar pelo menos 25% de toda a flora mundial até 2020, sendo que em 2000 atingiram o objetivo de armazenar germoplasma de toda a flora britânica.

A pesquisa com sementes nativas tropicais, apesar dos avanços nos últimos anos, é insipiente e não abrange grande diversidade de espécies. Para que a conservação em bancos de germoplasma seja feita de maneira eficiente, é necessário que investimentos em pesquisa básica sejam feitos, além da capacitação de mão de obra para coleta, beneficiamento e análise deste grupo de espécies que possuem especificidades metabólicas únicas. A grande maioria dos métodos empregados nos centros de conservação foi desenvolvida para espécies cultivadas que são, em sua grande maioria, tolerantes à dessecação, deixando sem atenção e importância aquelas sementes que não podem ser armazenadas de maneiras convencionais.

6. Referências bibliográficas

BARBEDO, C. J.; Marcos Filho, J. Tolerância à dessecação em sementes. *Acta Botânica Brasileira*, v. 12, n. 2, p. 145–164, 1998.

CARVALHO, L. R.; Da Silva, E. A. A.; Davide, A. C. Classificação de sementes florestais quanto ao comportamento no armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 2, p. 15-25, 2006.

CARVALHO, N. M.; Nakagawa, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4a ed. Funep, Jaboticabal. 2000.

COSTA, C. J. **Documentos 265: armazenamento e conservação de sementes de espécies do cerrado**. 1. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009.

ELLIS, R. H.; Hong, T. D.; Roberts, E. H. An intermediate category of seed storage behavior? **Journal of Experimental Botany**. v. 41, p. 1167-1174, 1990.

FARRANT, J. M.; Pammenter, N. W.; Berjak, P. Recalcitrance: a current assessment. **Seed Science and Technology**. v. 16, p. 155-166, 1988

FAO. **The second report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2010.

FAO/IPGRI. **Genebank Standards**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Plant Genetic Resources Institute, Rome, 1994.

FONSECA, S. C.; Silva, W. R.. Conservação de sementes de maracujá-amarelo: interferências do teor de água das sementes e da temperatura de armazenamento. **Tecnologia de Sementes**, v. 64, n. 2, p. 273-289, 2005.

GOMES, J. P. Germinação e armazenamento de sementes de *Myrtaceae*. 91 f. **Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)**. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2011.

HARRINGTON, J. F. Drying, storing, and packaging seeds to maintain germination and vigor. In: **Short course for seedsmen**, Mississippi State Univ., 1959, p. 89-107, 1960.

HONG, T. D.; Ellis, R. H. A protocol to determine seed storage behavior. In: Engels, J. M. M.; Tool, J. **Plant Genetic Resources Inst.** 62p, 1996.

JOSÉ, A. C., Da Silva, E. A. A.; Davide, A. C.; Melo, A. J. S.; Toorop, P. E. Effects of drying rate and storage time on *Magnolia ovata* Spreng. On seed viability. **Seed Science and Technology**, Volume 39, Number 2, 2011.

MAYRINCK, R. C.; Vaz, T. A. A.; Davide, A. C. Physiological classification of forest seeds regarding the desiccation tolerance and storage behaviour. **Cerne**, v. 22, n. 1, 2016.

ROBERTS, E. H. Predicting the storage life of seeds. **Seed Science and Technology**, Zurich, v.1, n. 4, p. 499-514, 1973.

TWEDDLE, J. C., Dickie, J. B., Baskin, C. C. and Baskin, J. M. Ecological aspects of seed desiccation sensitivity. **Journal of Ecology**. 91, 294-304. 2003.

VAZ, T. A. A.; Davide, A. C.; Rodrigues-Junior, A. G.; Nakamura, A. T.; Tonetti, O. A. O.; Da Silva, E. A. A. *Swartzia langsdorffii* Raddi: morphophysiological traits of a recalcitrant seed dispersed during the dry season. **Seed Science Research**. 26:47-56. 2016.

VAZ, T. A. A., Rodrigues-Junior, A. G., Tonetti, O. A. O., Davide, A. C.; José, A. C. The implications of the morphophysiology of *Cordia trichotoma*. **Seed Science and Technology**, 43, 3, 1-9. 2015.

LINDOMAR DE SOUZA MACHADO
Engenheiro Agrônomo, Me., Doutorando em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

LEONARDO HUMBERTO SILVA E CASTRO
Engenheiro Agrônomo, MBA, Me., Doutorando em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

CYNTIA MEIRY DA SILVA MACHADO
Engenheira Agrônoma, Me., Doutoranda em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

1. Considerações preliminares

Em uma cafeicultura moderna e sustentável, o manejo adequado da fertilidade do solo e da nutrição da planta é uma das premissas básicas para qualificar o sucesso do cultivo. Para tal, não se pode apenas considerar a diagnose visual, mas sim utilizar os métodos disponíveis de fácil acesso, como análise química do solo e de tecidos vegetais. Por tanto, tais técnicas são complementares, por haver grandes particularidades dos nutrientes minerais. No Brasil, a análise química do solo é mais utilizada do que a análise de tecidos. Entretanto, a sua interpretação, muitas das vezes, ocorre de forma equivocada e sendo insuficiente por si só para a correta recomendação da adubação do cafeeiro. Em busca de maior difusão tecnológica, busca-se com esse capítulo retratar um panorama geral acerca de métodos de diagnose nutricional do cafeeiro, proporcionando aos profissionais da área maior reflexão, para mitigação de recomendações de adubação de forma empíricas e não sustentáveis.

2. Introdução

Em um adequado programa de adubação do cafeeiro, deve-se analisar a fertilidade do solo e o estado nutricional da planta, sendo o último considerado complementar ao primeiro (FAQUIN, 2002). O conhecimento da exigência de nutrientes por parte da planta (acúmulo)

tem importância fundamental para nortear a adubação e permitir que se obtenham produtividades máximas e econômicas.

A planta obtém os elementos minerais essenciais a partir do solo, através da absorção pelas raízes. Quando este não fornece as quantidades adequadas dos nutrientes, as plantas demonstram, principalmente nas folhas, sintomas de deficiência, os quais são característicos para cada nutriente. Geralmente, a deficiência de um nutriente pode comprometer a suficiência de outros, o que dificulta a diagnose apenas por sintomas visuais. Então, o recomendado, é realizar a avaliação, tanto pela análise química do solo, quanto pelo estado nutricional da planta. Tal prática permite melhores subsídios para a interpretação do estado nutricional das culturas (MARTINEZ et al., 2008).

Técnicas de diagnóstico do estado nutricional das plantas são métodos usados para identificar deficiências, toxidez ou desbalanços nutricionais no sistema solo-planta. A deficiência se manifesta quando o nutriente está presente em quantidade insuficiente no meio de crescimento, ou quando mesmo presente, não pode ser absorvido ou incorporado metabolicamente pelo vegetal devido condições desfavoráveis do ambiente. De modo similar, a toxidez ocorre por excesso, desbalanços ou condições desfavoráveis do ambiente. Existem diversos métodos para tal prática, em que os mesmos objetivam comparar uma população de plantas com um padrão da cultura em questão (FAQUIN, 2002).

A produção economicamente viável de café depende das condições climáticas e de vários outros fatores (RENA e MAESTRI, 1986), dentre eles, o suprimento nutricional, a absorção e a utilização balanceada dos nutrientes minerais essenciais. Martinez et al., (2003) sugerem que, para o estabelecimento de um programa apropriado de adubação, é imprescindível a identificação dos principais problemas inerentes à nutrição da planta, bem como determinar quais os nutrientes são limitantes, suas quantidades, épocas e formas de aplicação corretas.

A nutrição mineral do cafeeiro vem sendo abordada como prioridade em uma visão inovadora do equilíbrio nutricional, dos mecanismos de absorção dos nutrientes e das suas funções no metabolismo da planta. Esses fatores estão associados aos aumentos de produtividade e qualidade dos grãos de café (RENA e MAESTRI, 1983).

3. Interpretação dos resultados da análise foliar

Atualmente, a diagnose foliar vem sendo utilizada basicamente para o acompanhamento da recomendação baseada na análise químicas do solo, sendo assim, uma interpretação qualitativa. Em culturas perenes, como o cafeeiro, parte da adubação é parcelada. Por tanto, a análise foliar pode proporcionar dados necessários para um programa de adubação mais adequado, conciliando as recomendações via análise química do solo (FAQUIN, 2002).

Entretanto, são escassos os dados sobre as quantidades de fertilizantes que devem ser acrescidas, no caso de a diagnose foliar indicar alguma deficiência, ou diminuídas, ao se detectar determinado excesso.

No estado de São Paulo, determinadas culturas perenes, como o cafeeiro e citros, existem recomendações de doses de fertilizantes nitrogenados, com base nos resultados do teor foliar. Isto, pelo fato de que não é realizada a análise do solo (RAIJ et al., 1996). Em trabalhos desenvolvidos por Guimarães et al., (1999), estabeleceu-se uma recomendação alternativa de adubação de nitrogênio para o cafeeiro em Minas Gerais, sendo a mesma baseada na análise foliar e correlacionando as produtividades almejadas, tais dados estão demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1. Aplicação de nitrogênio em função da produtividade aguardada e do teor foliar de N ou de doses preestabelecidas deste nutriente e doses de K_2O de acordo com a produtividade esperada e com a disponibilidade de potássio do solo.

	Teor de N foliar			Classes de Fertilidade				
	Baixo	Adequado	Alto	Baixo	Médio	Bom	Muito Bom	
Produtiv. Esperada	dag kg ⁻¹ < 2,5	2,6 – 3,0	3,1 -3,5	Teor de K no solo Mg dm ⁻³				
sc/ha	Doses de N (kg/ha/ano)		Dose de N ^{1/}	Doses de K ₂ O (kg/ha/ano)				
< 20	200	140	80	200	200	150	100	0
20 - 30	250	175	110	250	250	190	125	0
30 - 40	300	220	140	300	300	225	150	0
40 - 50	350	260	170	350	350	260	175	50
50 - 60	400	300	200	400	400	300	200	75
> 60	450	340	230	450	450	340	225	100

^{1/}Doses preestabelecidas de nitrogênio, quanto não se realizou análise foliar.

Adaptado de Guimaraes et al., (1999).

Dessa forma, o agricultor poderá ter um critério mais eficiente durante a adubação da lavoura. Assim, caso a cultura esteja bem nutrida, com teores foliares adequados ou altos, o agricultor não precisará aplicar o adubo desnecessariamente, caso isso aconteça pode levar a toxidez e/ou desbalanço nutricional acarretando diminuição da produtividade (GUIMARÃES et al., 1999).

A adubação modular foi desenvolvida por Malavolta e Moreira (1997), a qual considera a análise do solo, a análise foliar e a previsão da safra. Essa adubação prevê o parcelamento da adubação em quatro vezes. As duas primeiras parcelas são aplicadas de acordo com o planejamento, em seguida é realizada a análise foliar. Com os dados em mãos do teor de nitrogênio, por exemplo, poderá ou não haver algumas mudanças nas doses seguintes do parcelamento, podendo aumentar a quantidade em caso de deficiência ou diminuir em caso de excesso.

Em estudos com a cultura do cafeeiro, Guimarães et al. (1999), com o uso dos resultados de análises foliares, que foram realizadas após o segundo parcelamento da adubação nitrogenada, observou-se que, quando o teor foliar de N foi igual ou superior a $3,5 \text{ dag kg}^{-1}$ (a faixa de $3,1$ a $3,5 \text{ dag kg}^{-1}$ é considerada alta), deve-se cancelar a terceira ou a quarta aplicação.

Segundo Faquin (2002), a diagnose foliar gera subsídios para o acompanhamento da adubação, bem como o ajuste no plano de adubação, podendo proporcionar a redução na aplicação de fertilizantes e incrementar a produção (COSTA, 2001). A análise foliar permite um melhor acompanhamento do programa de adubação, tornando-se mais eficiente e complementando as informações fornecidas pela análise química do solo.

4. Métodos de interpretação dos dados da análise foliar

4.1 Faixa de suficiência

Para grande parcela das culturas, inclusive a do cafeeiro, não são encontrados um valor crítico para certo nutriente nas folhas, mas sim intervalos curtos de teores que levam ao ótimo de crescimento e de produção, os quais são denominados de “faixas de teores adequados” ou “faixas de suficiência”. O uso de faixas de suficiência maximiza a

diagnose, no entanto, pode haver certa perda na exatidão, especialmente quando as faixas apresentam grandes amplitudes (FAQUIN, 2002).

Para o cafeeiro, este método tem sido o mais empregado. No entanto, as faixas de suficiência empregadas não são específicas para uma dada região e, muitas vezes, derivam de trabalhos de pesquisa relativamente antigos, quando os níveis de produtividade alcançados eram bastante inferiores aos atuais.

Em trabalho desenvolvido por Partelli et al. (2005), ressalta-se que alguns cuidados devem ser tomados na interpretação dos resultados das faixas críticas de suficiência, pois se difere de acordo com o local, genótipo, manejo de cultura e a época do ano em que a avaliação está sendo realizada. Os autores observaram diferenças de alguns nutrientes (N, P, S, Fe e Mn) durante épocas do ano em café arábica no município de Manhuaçu – MG. Foi verificado, por exemplo, que um teor foliar de N de 2,72 dag kg⁻¹ indicaria que o nutriente se apresenta dentro da faixa própria de inverno (⁽⁵⁾ PARTELLI et al., 2005), mas se este mesmo valor ocorrer no verão, este elemento estará abaixo da faixa crítica de suficiência indicada para esta época (⁽⁶⁾ PARTELLI et al., 2005). Segundo Martinez et al. (2008), calibrações das faixas críticas de suficiência devem ser realizadas para o cafeeiro para diferentes regiões.

A Tabela 2 apresenta as faixas críticas de suficiência para o cafeeiro arábica sugeridas por vários autores (MARTINEZ et al., 1999; MATIELLO et al., 2002; PARTELLI, et al., 2005; PREZOTTI et al., 2007; MENDONÇA, 2009).

Tabela 2. Faixas críticas de suficiência dos nutrientes em folhas de cafeeiro segundo alguns autores, com os macronutrientes em dag kg⁻¹ e os micronutrientes em mg kg⁻¹.

Nutrientes	Autores*					
	1	2	3	4	5	6
N	2,90-3,20	2,70-3,20	3,00-3,50	3,02-3,38	2,71-3,20	2,86-3,17
P	0,12-0,16	0,15-0,20	0,12-0,15	0,12-0,19	0,11-0,15	0,12-0,15
K	1,80-2,20	1,90-2,40	1,80-2,30	1,58-2,26	1,48-2,18	2,42-3,17
Ca	1,00-1,30	1,00-1,40	1,00-1,50	1,03-1,47	1,06-1,68	0,94-1,31
Mg	0,31-0,45	0,31-0,36	0,35-0,50	0,23-0,35	0,24-0,37	0,29-0,40
S	0,15-0,20	-	-	0,12-0,21	0,09-0,2	0,15-0,18

Zn	10-20	8-16	10-20	8,51-17,7	10,8-19,2	13-30
Fe	70-180	90-180	70-200	45-155	90,5-188	68-246
Mn	50-200	120-210	50-200	22,8-191	61,2-249	105-280
Cu	08-16	8-16	10-50	7,6-32,0	10,1-32,7	12-18
B	40-80	59-80	40-80	40,6-83,0	44,6-92,4	46-66

Fonte: ⁽¹⁾ Prezotti et al., (2007); ⁽²⁾ Martinez et al., (1999); ⁽³⁾ Matiello et al., (2002); ^(4 e 5) Partelli et al., (2005); ⁽⁶⁾ Mendonça (2009).

4.2 Faixas críticas em flores

A metodologia de análise de flores tem sido aplicada com sucesso no diagnóstico de desordens nutricionais em espécies frutíferas, principalmente no continente europeu, cujas pétalas se desenvolvem após a floração. Tal avaliação é interessante, pois no momento do florescimento a planta passa a dividir suas energias entre a parte reprodutiva e a parte vegetativa, assim sendo é primordial que esta planta esteja em ótimos níveis nutricionais. Caso não esteja, a avaliação precoce permite que se inicie o ajuste do programa de adubação exatamente no início da estação de crescimento, antes que ocorram perdas irreversíveis em produtividade e qualidade. Além disso, sendo as flores órgãos de curta duração, onde não ocorrem reações metabólicas tão complexas, como nas folhas, estas não apresentam diferenças acentuadas entre a concentração total do nutriente e a fração ativa fisiologicamente. Para o cafeeiro a variabilidade dos resultados, de modo geral, é menor nas flores que nas folhas (MARTINEZ et al., 2003).

Segundo Martinez et al. (2003) a metodologia da faixa crítica de flores em cafeeiro, deve-se coletar cerca de 100 flores completas, na porção mediana dos ramos produtivos, no terço médio da copa e em todas as faces de exposição cardinal. Os valores de referência para a interpretação de resultados de análises de flores de cafeeiro são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Faixas críticas dos teores de nutrientes em flores de cafeeiro, segundo alguns autores, com os macronutrientes em dag kg^{-1} e os micronutrientes em mg kg^{-1} .

Nutrientes	Autores*					
	1	2	3	5	6	7
N	2,60-3,40	2,50-3,00	2,70-3,20	2,90-3,20	3,00-3,50	2,78 - 3,17
P	0,15-0,20	0,15-0,20	0,15-0,20	0,16-0,19	0,1-0,20	0,23 - 0,28
K	2,10-2,50	2,10-2,60	1,90-2,40	2,20-2,50	1,80-2,50	2,80 - 3,12
Ca	0,75-1,50	0,75-1,50	1,00-1,40	1,30-1,50	1,00-1,50	0,30 - 0,37
Mg	0,25-0,40	0,25-0,40	0,31-0,36	0,40-0,45	0,35-0,50	0,24 - 0,30
S	0,15-0,25	0,02-0,10	0,15-0,20	0,15-0,20	0,15-0,20	0,15 - 0,18
Zn	7-20	16-20	8-16	11-14	10-50	12 - 18
Fe	70-200	70-200	90-180	100-130	100-200	26 - 43
Mn	15-30	15-30	8-16	15-20	10-20	17 - 21
Cu	50-100	50-100	120-210	80-100	50-100	52 - 80
B	40-90	40-100	59-80	50-60	44-80	28 - 48

Fonte: ¹ Willson (1985); ² Reuter; Robinson (1988); ³ Malavolta (1993); ⁴ Malavolta et al., (1997); ⁵ Matiello (1997); ⁶ Zabini (2010).

As concentrações dos nutrientes N, K, B, Fe e Zn em flores não se mostram muito diferentes das observadas em folhas, enquanto as de P, Ca, Mg, S, Cu e Mn se diferem entre estes órgãos. A concentração de P apresenta-se maior nas flores, enquanto que as de Mg, S, e Cu são maiores nas folhas. As concentrações de Ca e Mn em folhas são cerca de 3 a 5 vezes mais elevadas que em flores (MARTINEZ et al., 2003).

4.3 Fertigramas

Uma outra forma de interpretação do estado nutricional do cafeeiro é através do uso de fertigramas. Se trata de uma ferramenta simples, e de fácil confecção e interpretação. A mesma apresenta uma representação gráfica de círculos concêntricos com divisões radiais de igual número ao de nutrientes plotados. As alturas dos eixos são comuns e plotados valores dos níveis críticos ou a faixa crítica do nutriente avaliado, utilizando-se as unidades de expressão do padrão em uma escala acertada. Em seguida, deve-se unir os pontos dos níveis críticos ou faixas críticas entre os eixos vizinhos, gerando um polígono regular padrão, que representa o estado nutricional adequado ou ótimo da

cultura. Após esta etapa, para efetivação da diagnose nutricional, deve-se verificar os picos a partir do círculo padrão de níveis críticos, os quais indicam excessos, enquanto que reentrâncias significam deficiências (FONTES, 2011).

Na Figura 1 estão ilustrados três fertigramas para o cafeeiro arábica (MARTINEZ et al., 2008). Observa-se que pela interpretação dos fertigramas a lavoura de alta produtividade (85 sc ha^{-1}) apresenta um polígono mais regular e está associada a um melhor equilíbrio nutricional. Já a lavoura de baixa produtividade (11 sc ha^{-1}) apresenta-se com polígono totalmente irregular, com picos e reentrâncias mais proeminentes, indicando excessos e deficiências nutricionais, com grande desequilíbrio nutricional.

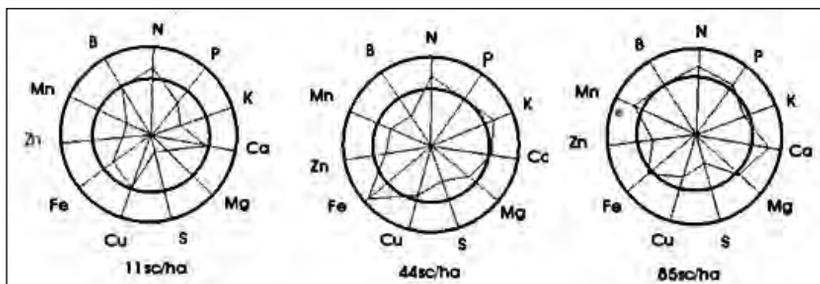


Figura 1 - Fertigramas para interpretação do estado e equilíbrio nutricional de lavouras de café arábica de baixa (11 sc ha^{-1}), média (44 sc ha^{-1}) e alta (85 sc ha^{-1}) produtividade média. Fonte: Martinez et al. (2008).

Essas ilustrações mostram com bastante clareza a inter-relação entre a produtividade e o equilíbrio nutricional das plantas. Martinez et al. (2008) complementam que a visualização por meio de fertigramas se torna útil, principalmente em regiões onde ocorrem problemas nutricionais agudos, tanto por deficiências quanto por excessos. Nessas condições, é possibilitado inferir de imediato a respeito das limitações nutricionais de uma determinada lavoura cafeeira.

4.4 Desvio do ótimo percentual e índices balanceados de Kenworth

Ambos os métodos apresentam o mesmo princípio: permitir avaliar o estado nutricional da planta como percentagem do teor de determinado nutriente na amostra de interesse em relação ao padrão. O

interessante desses métodos é que os mesmos permitem não somente a diagnose de determinado nutriente, mas também, uma interpretação do equilíbrio nutricional da cultura, pela posição percentual relativa do elemento no conjunto dos demais analisados na amostra (FAQUIN, 2002).

O método do desvio do ótimo percentual (DOP) foi proposto por Montañez et al. (1993) para avaliar o estado nutricional da planta como percentagem do teor de determinado nutriente na amostra de interesse em relação ao padrão. O DOP avalia o desvio percentual da concentração do elemento em relação ao ótimo considerado como valor de referência (FAQUIN, 2002). Para se calcular esse percentual utiliza-se a seguinte equação:

$$\text{DOP} = [(C \times 100) / C_p] - 100$$

Em que:

C e C_p = concentração percentual do nutriente na amostra e no padrão, respectivamente.

O valor do índice DOP negativo indica a deficiência do elemento, enquanto que valor positivo indica excesso e o valor zero indica o valor ótimo. Quanto maior o valor absoluto do índice DOP maior é a severidade da desordem nutricional (FAQUIN, 2002). Segundo Fontes (2011) este método é simples e adequado para avaliar simultaneamente a intensidade e a qualidade da nutrição mineral de plantas. Neste sentido, Sanz (1999) comparou os resultados deste método com o método Dris na cultura do pessegueiro, concluindo-se que ambos os resultados foram similares, comprovando a tese de que este método é eficiente para análise nutricional da planta.

À semelhança do IBN (SUMNER, 1977; ELWALI; GASCHO, 1984; MARTINEZ et al., 2008; AMARAL et al., 2011), o somatório dos valores modulares (absolutos) de todos os índices DOP dá indicações do balanço nutricional da cultura. Quanto maior o valor dessa soma, maior será o desequilíbrio nutricional da lavoura (FAQUIN, 2002).

De maneira similar ao DOP, o método de índices balanceados de Kenworthy (IBK), proposto por Kenworthy (1961), é embasado na proporção percentual (P) entre o teor de um nutriente em uma amostra (C) e o valor padrão ou valor de referência (C_p ou nível crítico). Caracteriza-se pelo fato dos índices serem calculados levando-

se em consideração os coeficientes de variação observados para cada um dos nutrientes nas amostras que constituem a população de referência. Na obtenção dos índices balanceados de Kenworthy (IK) observa-se primeiramente que, se a concentração do nutriente na amostra em avaliação (C) for menor que a concentração de referência (Cp), a influência da variabilidade (I) é somada ao valor de P. Em contraste, quando essa concentração (C) estiver acima da concentração de referência (Cp), a influência da variabilidade (I) é subtraída do valor de P (MARTINEZ et al., 2008). Desse modo, o Índice Balanceado de Kenworthy de cada nutriente pode ser calculado conforme segue:

$$\begin{aligned} \text{Se: } C < C_p \\ I &= (100 - P) \cdot CV / 100 \\ IK &= P + I \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Se: } C > C_p \\ I &= (P - 100) \cdot CV / 100 \\ IK &= P - I \end{aligned}$$

Em que:

IK = Índice Balanceado de Kenworthy do nutriente;

C = Valor da concentração do nutriente na amostra em avaliação;

Cp = Valor da concentração do nutriente na amostra padrão ou de referência;

P = $(C/C_p) \cdot 100$, ou seja, C em % de Cp;

CV = Coeficiente de variação do nutriente na população de referência;

I = Influência da variação;

A interpretação dos índices balanceados obtidos para os nutrientes da amostra pode ser realizada por intermédio da classificação empírica (MALAVOLTA et al., 1997; MARTINEZ et al., 2008), conforme segue:

- a) faixa de deficiência: 17 a 50%
- b) faixa abaixo do normal: 50 a 83%
- c) faixa normal ou adequada: 83 a 117%
- d) faixa acima do normal: 117 a 150%
- e) faixa de excesso: 150 a 183%

A desvantagem da utilização desta técnica está em função da necessidade de se dispor do valor do coeficiente de variação para cada nutriente na população de referência. Portanto, o uso do método com a utilização dos padrões disponíveis na literatura fica inviável, pela

falta dos valores dos coeficientes de variação. Assim, sua aplicação teria eficácia quando o próprio pesquisador estabelecer os padrões a partir de lavouras ou populações de altas produtividades, calculando-se, também, os coeficientes de variação para cada nutriente (FONTES, 2011).

4.5 Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS)

O sistema integrado de diagnose e recomendação (Dris) foi desenvolvido por Beaufils (1973), com base na curva normal reduzida. É um método de interpretação da análise foliar que considera o equilíbrio nutricional da planta e a relação entre os nutrientes. O mesmo permite uma fácil e rápida visualização e interpretação dos resultados analíticos por meio da sequência nutricional em ordem decrescente de requerimento, da deficiência ao excesso (SUMNER, 1979; WORTMANN et al., 1992; AMARAL et al., 2011).

Para a utilização deste método, torna-se necessário estabelecer com antecedência as normas ou padrões do Dris, que consistem na determinação da média, da variância e/ou do coeficiente de variação das relações dois a dois, tanto na ordem direta quanto na ordem inversa, entre os teores de todos os nutrientes de lavouras de referência ou de altas produtividades. Nesse sentido, foi realizado um estudo com a finalidade de se obter as normas do Dris para *Coffea arabica* L. cv. Catuaí, a partir de 40 lavouras de altas produtividades médias, acima de 40 sacas de café beneficiado por hectare, existentes em sete municípios (Guaçuí, Dores do Rio Preto, Ibitirama, Iúna, Irupi, Ibatiba e Muniz Freire) produtores de café arábica da microrregião do Caparaó-ES (MENDONÇA, 2009; MENDONÇA et al., 2009). Os valores médios das relações dois a dois entre todos os nutrientes dessas lavouras, bem como os respectivos valores médios dos coeficientes de variação e dos desvios padrões, constituíram os padrões de referência ou normas do Dris para o cafeeiro arábica (Tabela 5).

Tabela 5. Normas do Dris (razões médias = a/b, entre teores de nutrientes minerais) e, respectivos desvios padrões (s) de lavouras de café arábica, com produtividade média superior a 40 sc ha⁻¹, na microrregião do Caparaó-ES.

Razões	Médias (a/b)	s	Razões	Médias (a/b)	s
N/P	21,4723	2,3341	S/Zn	0,0113	0,0047
N/K	1,4578	0,1636	S/B	0,0026	0,0005
N/Ca	2,7655	0,5302	S/Cu	0,0115	0,0033
N/Mg	8,4235	1,4818	S/Mn	0,0014	0,0009
N/S	20,4092	2,9007	S/Fe	0,0024	0,0005
N/Zn	0,2329	0,1067	Zn/N	5,8259	4,1592
N/B	0,0521	0,0100	Zn/P	128,9390	98,5217
N/Cu	0,2369	0,0831	Zn/K	8,1972	5,2925
N/Mn	0,0299	0,0193	Zn/Ca	15,7603	11,3169
N/Fe	0,0476	0,0105	Zn/Mg	49,9521	39,9306
P/N	0,0461	0,0053	Zn/S	116,9473	85,9128
P/K	0,0667	0,0069	Zn/B	0,2871	0,1904
P/Ca	0,1263	0,0215	Zn/Cu	1,4491	1,5451
P/Mg	0,3862	0,0699	Zn/Mn	0,1908	0,2174
P/S	0,9359	0,1327	Zn/Fe	0,2559	0,1489
P/Zn	0,0107	0,0048	B/N	19,8874	3,7647
P/B	0,0024	0,0005	B/P	435,0897	87,2003
P/Cu	0,0108	0,0036	B/K	28,8620	5,8246
P/Mn	0,0014	0,0009	B/Ca	53,9272	9,3061
P/Fe	0,0022	0,0005	B/Mg	165,3713	33,9312
K/N	0,6942	0,0758	B/S	401,6457	73,1893
K/P	15,1428	1,6019	B/Zn	4,4046	1,7287
K/Ca	1,9091	0,3670	B/Cu	4,6671	1,8493
K/Mg	5,8479	1,1719	B/Mn	0,5723	0,3405
K/S	14,1240	2,2119	B/Fe	0,9220	0,1631
K/Zn	0,1577	0,0679	Cu/N	4,6363	1,3627
K/B	0,0360	0,0070	Cu/P	101,2162	30,6672
K/Cu	0,1645	0,0637	Cu/K	6,7287	1,9360
K/Mn	0,0208	0,0132	Cu/Ca	12,6618	3,9078
K/Fe	0,0327	0,0068	Cu/Mg	38,6425	12,1039
Ca/N	0,3736	0,0659	Cu/S	92,4145	22,5782
Ca/P	8,1253	1,2558	Cu/Zn	1,0598	0,5066

Ca/K	0,5417	0,0985	Cu/B	0,2384	0,0735
Ca/Mg	3,0792	0,4274	Cu/Mn	0,1306	0,0877
Ca/S	7,5250	1,1725	Cu/Fe	0,2157	0,0641
Ca/Zn	0,0846	0,0356	Mn/N	55,2688	51,4815
Ca/B	0,0191	0,0033	Mn/P	1190,2560	1045,0240
Ca/Cu	0,0875	0,0317	Mn/K	80,6815	76,0633
Ca/Mn	0,0106	0,0061	Mn/Ca	140,1138	105,6213
Ca/Fe	0,0175	0,0039	Mn/Mg	438,7590	370,5637
Mg/N	0,1228	0,0245	Mn/S	1092,1976	969,9969
Mg/P	2,6819	0,5529	Mn/Zn	13,1772	14,3341
Mg/K	0,1793	0,0448	Mn/B	2,7378	2,3391
Mg/Ca	0,3319	0,0539	Mn/Cu	11,8455	9,7695
Mg/S	2,4905	0,5515	Mn/Fe	2,4738	1,9766
Mg/Zn	0,0285	0,0133	Fe/N	22,1283	5,3966
Mg/B	0,0063	0,0014	Fe/P	483,3422	119,4718
Mg/Cu	0,0287	0,0100	Fe/K	31,9143	7,0801
Mg/Mn	0,0035	0,0019	Fe/Ca	60,0957	14,0659
Mg/Fe	0,0058	0,0016	Fe/Mg	185,0680	50,4695
S/N	0,0499	0,0068	Fe/S	446,5502	103,6425
S/P	1,0914	0,1719	Fe/Zn	4,8149	1,8010
S/K	0,0726	0,0118	Fe/B	1,1212	0,2181
S/Ca	0,1362	0,0223	Fe/Cu	5,1213	1,8802

Fonte: Mendonça (2009); Mendonça et al. (2009).

As normas do Dris para o cafeeiro conilon (*C. canephora* Pierre ex Frohner) foram obtidas a partir de 23 lavouras de altas produtividades médias, acima de 60 sacas de café beneficiado por hectare, existentes no município de Vila Valério, localizado na Região Noroeste do Estado do Espírito Santo (PARTELLI et al., 2006). Os autores estabeleceram os valores médios das relações dois a dois entre todos os nutrientes das 23 lavouras de altas produtividades, bem como os respectivos valores médios dos desvios padrões, os quais constituíram os padrões de referência ou normas do Dris para o cafeeiro conilon (Tabela 6).

Tabela 6. Normas do Dris (razões médias = a/b, entre teores de nutrientes minerais) e, respectivos desvios padrões (s) de lavouras de café conilon, com produtividade média superior a 60 sc ha⁻¹, em Vila Valério-ES.

Razões	Médias (a/b)	s	Razões	Médias (a/b)	s
N/P	18,9188	2,4377	S/B	0,0029	0,0007
N/K	1,4526	0,1441	S/Cu	0,0167	0,0066
N/Ca	2,2895	0,4356	S/Fe	0,0017	0,0004
N/Mg	7,5532	0,9796	S/Mn	0,0026	0,0013
N/S	15,3225	3,0523	S/Zn	0,0168	0,0039
N/B	0,0428	0,0058	B/N	23,7747	3,2039
N/Cu	0,2513	0,0995	B/P	448,6500	72,5633
N/Fe	0,0252	0,0027	B/K	34,4182	4,9047
N/Mn	0,0386	0,0176	B/Ca	54,1835	11,4109
N/Zn	0,2482	0,0306	B/Mg	179,0314	30,2720
P/N	0,0537	0,0068	B/S	362,7527	79,2462
P/K	0,0776	0,0096	B/Cu	5,8384	2,0661
P/Ca	0,1222	0,0246	B/Fe	0,5999	0,1061
P/Mg	0,4063	0,0763	B/Mn	0,9144	0,4154
P/S	0,8158	0,1539	B/Zn	5,9027	1,0576
P/B	0,0023	0,0005	Cu/N	4,5529	1,6535
P/Cu	0,0134	0,0051	Cu/P	85,9223	34,5109
P/Fe	0,0014	0,0002	Cu/K	6,5692	2,4763
P/Mn	0,0021	0,0010	Cu/Ca	10,2313	3,7896
P/Zn	0,0132	0,0017	Cu/Mg	34,0432	11,7143
K/N	0,6952	0,0717	Cu/S	68,7616	26,1562
K/P	13,0746	1,5570	Cu/B	0,1905	0,0611
K/Ca	1,5788	0,2730	Cu/Fe	0,1158	0,0461
K/Mg	5,2668	0,9524	Cu/Mn	0,1631	0,0681
K/S	10,5603	1,8123	Cu/Zn	1,1405	0,5023
K/B	0,0297	0,0045	Fe/N	40,1231	4,3856
K/Cu	0,1723	0,0604	Fe/P	758,5057	123,7877
K/Fe	0,0175	0,0025	Fe/K	58,2932	8,9652
K/Mn	0,0266	0,0115	Fe/Ca	92,0452	20,3148
K/Zn	0,1718	0,0213	Fe/Mg	302,7512	50,7807
Ca/N	0,4551	0,1039	Fe/S	613,6021	131,9804
Ca/P	8,5591	2,0451	Fe/B	1,7192	0,3133

Ca/K	0,6559	0,1398	Fe/Cu	10,2181	4,7413
Ca/Mg	3,4271	0,8546	Fe/Mn	1,5439	0,6887
Ca/S	6,8676	1,5856	Fe/Zn	9,9584	1,5981
Ca/B	0,0194	0,0048	Mn/N	31,9750	15,5871
Ca/Cu	0,1118	0,0431	Mn/P	608,5270	326,2614
Ca/Fe	0,0115	0,0032	Mn/K	46,1211	22,5000
Ca/Mn	0,0173	0,0087	Mn/Ca	72,0329	35,9864
Ca/Zn	0,1129	0,0299	Mn/Mg	239,1373	121,5602
Mg/N	0,1347	0,0188	Mn/S	489,5250	256,7532
Mg/P	2,5558	0,5386	Mn/B	1,3723	0,7243
Mg/K	0,1964	0,0384	Mn/Cu	7,4706	3,6510
Mg/Ca	0,3075	0,0685	Mn/Fe	0,8099	0,4359
Mg/S	2,0516	0,4392	Mn/Zn	7,9305	4,0274
Mg/B	0,0057	0,0010	Zn/N	4,0861	0,4929
Mg/Cu	0,0336	0,0138	Zn/P	76,7422	9,6931
Mg/Fe	0,0034	0,0006	Zn/K	5,9112	0,7597
Mg/Mn	0,0051	0,0022	Zn/Ca	9,3365	1,9564
Mg/Zn	0,0336	0,0075	Zn/Mg	30,9699	5,8731
S/N	0,0678	0,0139	Zn/S	62,3855	13,5148
S/P	1,2736	0,2849	Zn/B	0,1751	0,0343
S/K	0,0977	0,0195	Zn/Cu	1,0275	0,4146
S/Ca	0,1532	0,0357	Zn/Fe	0,1031	0,0175
S/Mg	0,5086	0,1045	Zn/Mn	0,1568	0,0697

Fonte: Partelli et al., (2006).

O Dris apresenta menores variações com a idade da planta, do que os níveis críticos ou as faixas de suficiência (FAQUIN, 2002). Embora esse método não permita calcular a quantidade de nutrientes minerais a ser aplicada, fornece a dimensão do balanço nutricional nas plantas, bem como quais os nutrientes estão em excesso e em carência, em relação aos demais elementos (MARTINEZ et al., 2008). O Dris é mais uma ferramenta para interpretação da análise foliar, fornecendo uma visualização rápida do equilíbrio nutricional das plantas, que pode nortear, juntamente com a análise de solo, os programas de adubação (ELWALI; GASCHO, 1984; MARTINEZ et al., 2008).

A diagnose nutricional pelo Dris envolve comparações entre as relações dois a dois dos teores dos nutrientes da lavoura a ser diagnosticada com as médias das respectivas razões entre os teores dos nutrientes das lavouras de altas produtividades ou de referência, por intermédio de funções estabelecidas com base na curva normal reduzida (BEAUFILS, 1973). Assim, para a aplicação do Dris, são calculadas inicialmente as funções das razões entre dois nutrientes, por uma das três recomendações descritas a seguir:

(1) Beaufils (1973):

$$\text{se: } A/B > a/b, \text{ então: } f(A/B) = [(A/B / a/b) - 1] \cdot (100 k / CV)$$

$$\text{se: } A/B = a/b, \text{ então: } f(A/B) = 0$$

$$\text{se: } A/B < a/b, \text{ então: } f(A/B) = [1 - (a/b / A/B)] \cdot (100 k / CV)$$

(2) Jones (1981):

$$f(A/B) = (A/B - a/b) \cdot k / s$$

(3) Elwali e Gascho (1984):

$$\text{se: } A/B < a/b - s, \text{ então: } f(A/B) = [1 - (a/b / A/B)] \cdot (100 k / CV)$$

$$\text{se: } a/b - s < A/B < a/b + s, \text{ então: } f(A/B) = 0$$

$$\text{se: } A/B > a/b + s, \text{ então: } f(A/B) = [(A/B / a/b) - 1] \cdot (100 k / CV)$$

Em que:

✓ $f(A/B)$ = função da relação entre os teores de dois nutrientes A e B da amostra a ser diagnosticada e as respectivas normas do Dris;

✓ A/B = quociente da razão entre os teores de dois nutrientes A e B da amostra a ser diagnosticada;

✓ a/b = quociente da razão média entre os teores de dois nutrientes A e B da população de plantas de referência, fornecido pelas normas do Dris;

✓ s = desvio padrão médio dos quocientes das razões a/b fornecido pelas normas do Dris;

✓ CV = coeficiente de variação médio (%) dos quocientes das razões a/b fornecido pelas normas do Dris;

✓ k = constante de sensibilidade (= 10), usada para aumentar os valores dos índices Dris;

✓ n = número de nutrientes envolvidos na análise.

Vários autores têm envidado esforços no sentido de identificar a melhor forma de cálculo do Dris. Bataglia e Santos (1990) testaram os três métodos na cultura da seringueira e concluíram que os métodos Beaufils (1973) e Elwali e Gascho (1984) apresentaram resultados semelhantes.

Após os cálculos das funções normais reduzidas, são quantificados os índices Dris para cada nutriente mineral, seguindo as recomendações de Alvarez V. e Leite (1992), do seguinte modo:

$$\text{Índice A} = \{[f(A/B) + \dots + f(A/Z)] - [f(B/A) + \dots + f(Z/A)]\} / (n + m)$$

Em que:

✓ f(A/B); f(A/Z) = função normal reduzida da relação direta entre os teores de dois nutrientes A e B; A e Z, respectivamente;

✓ f(B/A); f(Z/A) = função normal reduzida da relação inversa entre os teores de dois nutrientes B e A; Z e A, respectivamente;

✓ n = número de funções onde o nutriente A em análise aparece no numerador (relações diretas);

✓ m = número de funções onde o nutriente A em análise aparece no denominador (relações inversas).

O índice Dris consiste no somatório de todas as funções normais reduzidas, onde o nutriente de interesse aparece no numerador, subtraída de todas as funções normais reduzidas, onde o nutriente aparece no denominador, dividido pelo número de funções (diretas e inversas) envolvidas no cálculo. Portanto, o índice Dris representa a média aritmética de todos os valores das funções normais reduzidas envolvendo um determinado nutriente (ALVAREZ V.; LEITE, 1992).

Valores do índice Dris positivos indicam que o nutriente em análise está em excesso em relação aos demais, e os valores negativos indicam insuficiência do elemento (BALDOCK; SCHULTE, 1996), não necessariamente uma deficiência nutricional (WORTMANN, 1992), nem toxidez quando apresentar excesso, indicando apenas a ordem de limitação dos nutrientes (BEVERLY, 1993). Entretanto, quanto mais próximos de zero forem os índices Dris, tanto mais equilibrado estará o balanço nutricional da cultura (BALDOCK; SCHULTE, 1996, AMARAL et al., 2011).

Pelo Dris é possível obter o índice de balanço nutricional (IBN), o qual permite comparar o equilíbrio nutricional de diversas lavouras entre si (MARTINEZ, et al., 2008; AMARAL et al., 2011). Este índice é calculado através do somatório dos valores modulares (absolutos) dos índices Dris obtidos para cada nutriente (SUMNER, 1977; ELWALI; GASCHO, 1984; LEITE, 1993; MARTINEZ et al., 2008), de acordo com a equação abaixo:

$$\text{IBN} = [|\text{índice A}| + |\text{índice B}| + \dots + |\text{índice X}|]$$

Em que:

Índice A, índice B e índice X = índices Dris dos nutrientes A, B e X.

Quanto menor for o valor do IBN, melhor será o equilíbrio nutricional da lavoura. Caso o IBN seja considerado baixo e a produção também baixa a limitação na produção sugere ser de origem não nutricional. O Dris possibilita, ainda, conhecer a ordem de limitação dos nutrientes, tanto por deficiência quanto por excesso. Assim, os valores dos índices Dris são organizados em ordem decrescente de requerimento, de modo a facilitar a rápida visualização e interpretação das análises (MARTINEZ et al., 2008; AMARAL et al., 2011).

No entanto, os índices Dris não permitem o cálculo da quantidade de nutriente a ser aplicada na lavoura (MARTINEZ et al., 2008). Outra desvantagem do método está associada na interdependência entre os índices Dris, permitindo que o teor muito elevado de um determinado nutriente influencie negativamente o valor dos índices de outros nutrientes, podendo induzir diagnóstico de deficiência para um nutriente que se encontra em teores adequados (BALDOCK e SCHULTE, 1996).

A utilização de normas do Dris específicas para situações distintas daquelas usadas na calibração poderá resultar em diagnósticos incorretos, conforme demonstrado por Partelli et al., (2006). Ou seja, ao se aplicar normas do Dris para cafeeiros sob sistema de produção orgânico na avaliação de lavouras convencionais, o diagnóstico produzido pela norma do Dris específica não será coerente com o diagnóstico produzido para cada uma das situações descritas.

Alguns autores tem desenvolvido normas regionais para a utilização do Dris para o cafeeiro no Brasil (BATAGLIA; SANTOS,

1990; LEITE, 1993; PARTELLI et al., 2006; 2006; GUIMARAES, 2009; MENDONÇA et al., 2009), e em outros países como a Colômbia (ARBOLEDA et al., 1988) e Venezuela (ARIZALETA et al., 2006). Os trabalhos tem sido direcionados quanto à abrangência da aplicação das normas do Dris. Os mesmos têm indicado a melhoria da acurácia da diagnose nutricional quando são utilizadas normas específicas para uma região, em relação ao uso de normas gerais, definidas a partir de um banco de dados em que se abrangem diferentes condições de clima, época de amostragem, parte da planta amostrada, sistema de manejo do solo e variedade, entre outros (BEVERLY et al., 1986; REIS JR.; MONNERAT, 2003).

Martinez et al., (2003), trabalhando com cafeeiro arábica em quatro municípios de Minas Gerais, demonstraram que mesmo procurando uniformizar ao máximo as lavouras amostradas e mesmo tendo em alguns casos normas parecidas, as normas de aplicação do Dris em lavouras cafeeiras devem ser regionalizadas. Reis Jr. e Monnerat (2003) também avaliaram o uso universal das normas do Dris para cana-de-açúcar e concluíram que tais normas devem ser estabelecidas para cada região produtora.

5. Considerações finais

A interpretação da análise foliar possibilita verificar a ocorrência de deficiências minerais, de toxidez ou desequilíbrio de nutrientes que poderiam estar limitando o crescimento, desenvolvimento e a produção do cafeeiro. O diagnóstico do estado nutricional constitui-se num fator indispensável no sistema de produção, permitindo o acompanhamento e a avaliação de um programa de adubação mais eficiente, complementando as informações fornecidas pela análise de solo.

6. Referências bibliográficas

ALVAREZ V., V.H.; LEITE, R.A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices dos nutrientes no sistema integrado de diagnose e recomendação - DRIS. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 20, 1992, Piracicaba. **Resumos expandidos...** Piracicaba, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1992. p.186-187. CD-Rom

AMARAL J.F.T; MARTINEZ, H.E.P.; LAVIOLA, B.G.; FILHO, E.I.F.; CRUZ, C.D. Nutrients use efficiency by coffee cultivars. **Ciência Rural**, v.41, p.04-16, 2011.

ARBOLEDA, C.V.; ARCILA, J.P.; MARTINEZ, R.B. Sistema integrado de recomendación y diagnóstico: una alternativa para la interpretación de resultados del análisis foliar em café. **Agronomía Colombiana**, v. 5, p. 17-30, 1988.

ARIZALETA, C.M.; RODRÍGUEZ, V.; RODRÍGUEZ, O. Normas e índices DRIS para la evaluación nutricional del cafeto. **Acta Científica Venezolana**, v. 57, n. 2, p. 59-65, 2006.

BALDOCK, J.O.; SCHULTE, E.E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agronomy Journal**, v. 88, p. 448-456, 1996.

BATAGLIA, O.C.; SANTOS, W.R. Estado nutricional de plantas perenes: Avaliação e monitoramento. **Informações Agronômicas**, n.12, p. 3-8, 1990.

BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS): a general scheme of experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition**. University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa, 1973. (Soil Science Bulletin, 1).

BEVELY, R.B.; SUMNER, M.E.; LETZSCH, W.S.; PLANCK, C.O. Foliar diagnosis of soybean by DRIS. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 17, n. 3, p. 237-256, 1986.

BEVERLY, R.B. DRIS diagnose of soybean nitrogen, phosphorus, and potassium status are unsatisfactory. **Journal of Plant Nutrition**, v. 16, n.8, p.1431-1447, 1993.

COSTA, A.N. da. Método de interpretação e diagnose foliar em café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.) **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, p. 617-646, 2001.

ELWALI, A.M.O.; GASCHO, G.J. Soil testing, foliar analysis, and DRIS as a guide for sugarcane fertilization. **Agronomy Journal**, v.76, n.3, p.466-470, 1984.

FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002. 77f. Monografia (Pós-graduação “Lato Sensu” em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Agronegócio) – Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

FONTES, P. C. R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose**. 1.ed. Viçosa: Arka Editora, 2011. v. 1. 296 p.

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; ALVAREZ VIEGAS, V. H.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VIEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.

MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. Nutrição e adubação do cafeeiro adensado. Piracicaba: **Informações Agronômicas**, n. 80, p. 1-7, dez. 1997. (Encarte técnico).

JONES, C.A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.12, p.785-794, 1981.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210 p

MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. Nutrição e adubação do cafeeiro adensado. Piracicaba: **Informações Agronômicas**, n. 80, p. 1-7, dez. 1997. (Encarte técnico).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. (Eds.) **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed., Piracicaba, POTAFOS, p.115-230, 1997.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: Ribeiro, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5a Aproximação. Viçosa-MG: CFSMG, 1999. p. 143-168.

MARTINEZ, H.E.P.; MENEZES, J.F.S.; SOUZA, R.B. de; VENEGAS, V.H.A.; GUIMARÃES, P.T.G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 703-713, 2003.

MARTINEZ, H.E.P.; NEVES, Y.P.; ZABINI, A.V.; CLEMENTE, J.M.; PEDROSA, A.W. Diagnose foliar em cafeeiro. In: TOMAZ, M.A.; AMARAL, J.F.T. do; JESUS Junior, W.C.; PEZZOPANE, J.R.M. (Eds.) **Seminário para a Sustentabilidade da Cafeicultura**, Alegre, UFES, p.139-166, 2008.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de janeiro: Ministerio da Agricultura, da Pesca e do Abastecimento, 2002. 387p.

MENDONÇA, G.P. de. **Normas do DRIS e avaliação nutricional do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na microrregião do Caparaó-ES**. 2009. 91f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2009.

MENDONÇA, G.P. de; AMARAL, J.A.T. do; AMARAL, J.F.T. do; TOMAZ, M.A. Normas do Dris do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na microrregião do Caparaó-ES. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 6, 2009. Vitória. **Anais...** Vitória: Consórcio Pesquisa Café, 2009. CD-Rom.

MONTAÑEZ, L.; HERAS, L.; ABADIA, J.; SANZ, M. Plant analysis interpretation based on a new index: deviation from optimum percentage (DOP). **Journal of Plant Nutrition**, v. 16, n. 7, p. 1289-1308, 1993.

PARTELLI, F.L.; CARVALHO, V.B.; VIEIRA, H.D. Faixa crítica foliar para o cafeeiro arábica da região de Manhuaçu - MG no verão

e no inverno. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 4. 2005, Londrina. **Anais...** Brasília, DF, Embrapa Café, 2005. p. 1-4.

PARTELLI, F.L.; VIEIRA, H.D.; MONNERAT, P.H.; VIANA, A.P. Estabelecimento de normas Dris em cafeeiro conilon orgânico ou convencional no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, v. 443-451, 2006.

PREZOTTI, L. C.; LANI, J. A.; BRAGANÇA, S. M. Cafeeiro. In: PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo (5ª aproximação)**. Vitória: Seea/Incaper/Cedagro, 2007, p.111-118.

RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1996. 285 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

REIS Jr., R. dos A.; MONNERAT, P.H. Norms establishment of the diagnosis and recommendation integrated system (Dris) for nutritional diagnosis of sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 277-282, 2003.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Eds.). **Cultura do Cafeeiro; Fatores que afetam a Produtividade**. Piracicaba-SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 13-85, 1986.

REUTER, D. J.; ROBINSON, J. B. **Plant analysis: an interpretation manual**. Melbourne: Inkata, 1988. 218 p

SANZ, M. Evaluation of interpretation of DRIS system during growing season of the peach tree: Comparison with DOP method. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.30, p.1025-1036, 1999.

SUMNER, M.E. Application of Beaufils diagnostic indices to maize data published in the literature irrespective of age and conditions. **Plant and Soil**, v. 46, p. 359- 369, 1977.

SUMNER, M.E. Interpretation of analysis for diagnostic purposes. **Agronomy Journal**, v.71, p.343-348, 1979.

SUMNER, M.E.; BEAUFILS, E.R. Diagnosis of the NPK requirements of sugarcane irrespective of plant age and season using beaufils' system (Dris): preliminary observations. **Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association**, p.137-141, 1975.

WILLSON, K. C. Mineral nutrition and fertilizer needs. In: CLIFORD, N. N.; WILLSON, K. C. (Ed.). **Coffee botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London: Croom Helm, 1985. p. 135-156

WORTMANN, C.S.; KISAKYE, J.; EDJE, O.T. The diagnosis and recommendation integrated system for dry bean: Determination and validation of norms. **Journal of Plant Nutrition**, v.15, p.2369-2379, 1992.

ZABINI, A. V. **Diagnóstico nutricional do cafeeiro por meio da análise de flores, folhas e extrato foliar**. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 2010, 78p. il.: (Doutorado em Fitotecnia) Orientador: Hermínia Emília Prieto Martinez.



GUSTAVO ALVES SANTOS
Eng. Agrº. - Doutor – Uberlândia - MG

DIOGO ARISTÓTELES RODRIGUES GONÇALVES
Professor – UNIARAXÁ – Araxá - MG

HAMILTON SERON PEREIRA
Professor Titular – UFU – Uberlândia - MG

1. Introdução

1.1 A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas brasileiras, sendo o Brasil o maior produtor mundial dessa cultura de grande importância para o agronegócio brasileiro por servir como matéria-prima de grande flexibilidade (UNICA, 2006; CONAB, 2016). Em termos de produção, a estimativa para a cultura da cana-de-açúcar, na safra 2016/17, é de aproximadamente 695 milhões de toneladas (t), o que representa um crescimento de 4,4% em relação à safra anterior. Já a área a ser colhida está estimada em 9,1 milhões hectares, indicando aumento de 5,3%, se comparada com a safra 2015/16. A produtividade estimada para a safra que está por vir é de 76 t ha⁻¹, o que reflete uma redução de 0,9% como consequência da queda de produtividade no Centro-Sul, onde as lavouras da safra anterior tiveram, na sua maioria, produtividades recordes (CONAB, 2016).

Além de ser considerada fonte de alimentação animal por produzir açúcar, produz álcool de vários tipos, a exemplo do etanol, usado como biocombustível, bebidas como cachaça, licor, rum e gera eletricidade a partir do bagaço. Da cana-de-açúcar se aproveita absolutamente tudo: bagaço, méis, torta e resíduos de colheita (UNICA, 2006). A cana-de-açúcar é considerada uma das grandes alternativas para o setor de biocombustíveis devido ao grande potencial na produção de etanol e aos respectivos subprodutos. Além da produção de etanol e açúcar, as

unidades de produção têm buscado operar com maior eficiência, inclusive com geração de energia elétrica, auxiliando na redução dos custos e contribuindo para a sustentabilidade da atividade (CONAB, 2016).

O ambiente de produção de cana-de-açúcar é definido em função das condições físicas, hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas dos solos sob manejo adequado da camada arável em relação ao preparo, calagem, adubação, adição de vinhaça, torta de filtro e palha, do controle de ervas daninhas e pragas, associadas com as condições de subsuperfície dos solos e ao clima regional (precipitação pluviométrica, temperatura, radiação solar, evaporação) e ainda, com o grau de declividade onde os solos ocorrem na paisagem (DINARDO-MIRANDA et al., 2008).

A extração de nutrientes que a cana-de-açúcar necessita para uma produção de 100 t ha⁻¹ de colmos é da ordem de 143 kg de N, 43 kg P₂O₅, 210 kg K₂O, 87 kg Ca, 49 g de Mg e 44 kg S. No caso dos micronutrientes são necessários 7,3 g de Fe, 2,5 g de Mn, 592 g de zinco Zn, 339 g de Cu e 235 g de B (ORLANDO FILHO, 1993). As quantidades de nutrientes extraídas do solo pela cana-de-açúcar variam de acordo com os métodos de cultivo, variedade, tipo de solo e disponibilidade de nutrientes no solo, procurando encontrar faixas de teores de nutrientes adequados para a cultura. Na maioria das pesquisas as extrações dos nutrientes encontraram-se na ordem decrescente para macronutrientes de K>N>Ca>Mg>S>P (MAEDA, 2009).

A adubação é uma prática que interfere de diversas maneiras na qualidade da cana-de-açúcar (KORNDÖRFER, 1994). A adubação nitrogenada está associada a um maior crescimento vegetativo e, portanto, maior umidade na cana, além disso, pode diminuir o teor de sacarose dos colmos. Já a adubação fosfatada está relacionada com o aumento da produção e também contribui de maneira significativa para aumentar o teor de P₂O₅ no caldo, melhorando o processo de clarificação do mesmo.

O potássio por sua vez, destaca-se por ser o nutriente exportado em maior quantidade por essa cultura. Além de influenciar sua qualidade, atua no metabolismo da planta, ativando várias enzimas, exerce importante função na abertura e fechamento dos estômatos, além de estar relacionado com a assimilação de gás carbônico e fotofosforilação (FIGUEIREDO, 2006).

Assim, a nutrição adequada da cana-de-açúcar é uma prática comprovadamente reconhecida como sendo uma das principais responsáveis pelos incrementos de produtividade da cultura. Considerando que a adubação mineral é a mais utilizada para o fornecimento de nutrientes e por representar grande parte dos custos de produção, buscar alternativas para as unidades produtoras de açúcar e álcool, visando diminuir esses custos, representa uma grande contribuição dos órgãos de pesquisa. Assim, a utilização de resíduos, tanto de origem animal quanto industrial, nessas áreas produtoras, como fornecedores de nutrientes, é de suma importância e necessita de muitos estudos para ser comprovada como eficiente e sustentável (RAMOS, 2013).

2. Silício no solo

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre depois do oxigênio (O), com um teor médio de 28,8% (peso) e uma ocorrência que varia de 0,52 a aproximadamente 47,0% (peso) (McKEAGUE e CLINE, 1963; WEDEPOHL, 1995; KORNDÖRFER, 2006).

Enquanto a maioria dos solos são abundantes em Si, outros contêm níveis baixos deste elemento, em particular a forma disponível para as plantas. Estes solos incluem os Latossolos e Argissolos, que são tipicamente caracterizados como altamente intemperizados, lixiviados, ácidos e pobres em saturação por bases (FOY, 1992), e os Organossolos, que contêm altos níveis de matéria orgânica e baixos teores de minerais (SNYDER et al., 1986). Além disso, os solos compostos predominantemente por areia e aqueles que estiveram sob a utilização agrícola por um longo tempo, perdem rapidamente quantidades consideráveis de Si e normalmente têm baixo teor deste nutriente disponível para as plantas (KORNDÖRFER, 2006; DATNOFF et al., 1997)

No solo, o Si é geralmente agrupado em três frações diferentes: a fase sólida, a fase adsorvida e a fase líquida (MATICHENCOV e BOCHARNIKOVA, 2001; SAUER et al., 2006). A fase sólida é dividida em três grupos principais: formas amorfas, formas pouco cristalinas e microcristalinas e as formas cristalinas. A maior fração de Si na fase sólida é composta pelas formas cristalinas as quais ocorrem

principalmente como silicatos primários e secundários e são abundantes em solos minerais que se desenvolveram a partir de rochas e sedimentos (ILER, 1979; CONLEY et al., 2006). A importância dessa fase de Si no solo está no fato de que a solubilidade das diferentes formas do elemento na fase sólida afeta de forma significativa a concentração de Si na solução do solo (TUBAÑA; HECKMAN, 2015). Os componentes de Si nas fases adsorvida e líquida são semelhantes, com a exceção de que aqueles em fase líquida estão dissolvidos na solução do solo, enquanto os adsorvidos estão presos às partículas do solo e os óxidos e hidróxidos de Fe e Al (TUBAÑA; HECKMAN, 2015). A adsorção do ácido silícico presente na solução do solo ocorre em uma variedade de partículas do solo incluindo argila e hidróxidos de Fe e Al (HANSEN et al., 1994; DIETZEL, 2002) e também minerais de argila secundários que, ao adsorverem Si, causam redução mínima na concentração do elemento em solução (SIEVER, WOODFORD, 1973). Já os hidróxidos de Fe e Al têm capacidade de adsorção forte, capaz de remover, a partir da solução do solo, quantidades significativas de Si dissolvido (BECKWITH e REEVE, 1963; McKEAGUE e CLINE, 1963; CORNELL e SCHWERTMANN, 1996). Essa adsorção do Si por óxidos é influenciada por fatores como o pH, o potencial redox e o tipo de metal (Al ou Fe) presente no solo.

A quantidade de ácido monossilícico (H_4SiO_4) que é adsorvida por óxidos aumenta desde pH 4 a pH 9, sendo notavelmente mais elevada quando os óxidos metálicos no solo são à base de Al por serem esses mais eficazes do que os óxidos de Fe em adsorver H_4SiO_4 na solução do solo (JONES e HANDRECK 1963, 1965, 1967; McKEAGUE e CLINE, 1963).

Na fase líquida, ou na solução do solo, o Si está presente em diferentes formas e ocorre principalmente como monomérica (H_4SiO_4 , a forma biodisponível para plantas), ácido oligomérico e ácido poli-silícico (ILER, 1979), em outras palavras, a fase líquida de Si consiste de H_4SiO_4 e das formas polimerizadas e complexadas de ácido silícico. Em termos numéricos, a concentração de Si varia de 0,09 a 93,4 mg dm^{-3} de acordo com Volkova (1980) e Kovda (1985).

O ácido monossilícico (H_4SiO_4) não apresenta cargas e é a única forma absorvida pelas plantas, sendo, após a absorção, depositado como sílica polimerizada dentro dos tecidos da planta, o que o torna

A quantidade de H_4SiO_4 na solução do solo e a solubilidade de minerais contendo silício é afetada por fatores como pH, temperatura, tamanho das partículas, teor de água e matéria orgânica, e potencial redox do solo (SAVANT et al., 1997).

Em geral o pH do solo regula a solubilidade e a mobilidade do Si, sendo H_4SiO_4 a forma comum em solos com valores de pH menores que 8 (ILER, 1979), a qual se dissocia em $H^+ + H_3SiO_4^-$ em valores de pH acima de 9 ou ainda em $2H^+ + H_2SiO_4^{2-}$ em valores de pH acima de 11 (TUBAÑA; HECKMAN, 2015). Ainda os processos de adsorção-dessorção que afetam a concentração de H_4SiO_4 na solução do solo são muito dependentes do pH (McKEAGUE e CLINE, 1963) sendo a adsorção máxima de H_4SiO_4 em pH entre 9 e 10. Por fim, o efeito do pH sobre a disponibilidade de Si no solo é observado também quando a aplicação de fertilizantes que geram acidez aumenta a concentração de H_4SiO_4 na solução do solo, e calagem e elevado teor de matéria orgânica resultam em redução na concentração e mobilidade do H_4SiO_4 segundo estudos de Panov et al. (1982) e Allmaras et al. (1991).

Um aspecto importante relacionado ao Si no solo, além da sua disponibilidade e das formas em que se encontra, é sua capacidade em influenciar a dinâmica dos diferentes elementos, o que se deve à sua elevada capacidade de adsorção e pode resultar em maior ou menor disponibilidade de determinados nutrientes (TUBAÑA; HECKMAN, 2015).

Exemplo positivo da influência do Si na dinâmica de outros nutrientes aparece no estudo conduzido por Tokunaga (1991), em que as perdas por lixiviação de K e outros nutrientes móveis no solo foram reduzidas pela presença de Si e o que os fez permanecer disponíveis pelo fato de nutrientes na solução do solo com carga positiva serem adsorvidos sobre a superfície contendo Si.

Ainda, de acordo com várias publicações, a disponibilidade de fosfato aumenta após a fertilização com Si (GLADKOVA, 1982; SINGH e SARKAR, 1992; O'REILLY e SIMS, 1995; MATICHENKOV e AMMOSSOVA, 1996). A aplicação de Si aumenta sua quantidade dissolvida na solução do solo na forma de H_4SiO_4 , a qual ao ser adsorvida por exemplo a fosfatos Al, Ca, Mg e Fe causa dessorção do

ânion fosfato. Nota-se assim que uma fonte de Si tem a capacidade para adsorver os fosfatos dissolvidos na solução do solo, incluindo aqueles liberados a partir da reação de dessorção causada pelo silicato (TUBAÑA; HECKMAN, 2015). Observa-se então que no solo a relação entre o fosfato e o H_4SiO_4 é antagônica, ou seja, a quantidade de íon fosfato liberado para a solução do solo aumenta com concentrações crescentes de H_4SiO_4 , o que é explicado pela forte competição por sítios de sorção específicos (BROWN e MAHLER, 1987).

A presença de Si pode também reduzir a disponibilidade de determinados elementos presentes no solo, o que, no caso de metais pesados e/ou nutrientes tóxicos se mostra como mais um importante ponto a ser considerado em relação ao Si no solo. Estudos conduzidos com aplicação de materiais ricos em silício mostraram aumento no pH do solo e redução na disponibilidade de Cd, Cu, Pb e Zn em 60% e na absorção desses metais pesados pelo arroz (CHEN et al., 2000; GU et al., 2011). Tubaña et al. (2012) observaram resultados semelhantes com os elementos Fe e Ni. Segundo Schindler et al. (1976), o fluxo de difusão dos metais pesados a partir do solo para a solução foi reduzido em 84% devido à precipitação com silicatos, fosfatos e hidróxidos, sendo bastante baixa a solubilidade destes silicatos de metais pesados.

Em altas concentrações de H_4SiO_4 na solução do solo os metais pesados são imobilizados pela precipitação dos silicatos, o que resulta em baixa concentração de silicatos solúveis para a absorção pelas plantas (JONES e HANDRECK, 1967; LINDSAY, 1979; SNYDER et al., 2007), isso porque o Si no solo se torna indisponível para ser absorvido quando em forma de silicatos ou óxidos com outros compostos (MA; YAMAJI, 2006).

Outro exemplo de estudos que mostraram que a aplicação de materiais ricos em silício efetivamente reduziu a toxicidade e a absorção de Al são os trabalhos de Haak e Siman, 1992; Myhr e ERstad, 1996, que explicam que a precipitação do Al pode ser causada pelo aumento no pH do solo resultante da elevada concentração de H_4SiO_4 (LINDSAY, 1979), pela adsorção de H_4SiO_4 aos hidróxidos de Al e a formação de compostos menos móveis com reduzida ação fitotóxica do Al (PANOV et al., 1982; BAYLIS et al., 1994) e/ou pela forte adsorção do Al móvel à superfície do silicato (SCHULTHESS e TOKUNAGA, 1996).

Estudos têm demonstrando também efeito importante do Si na redução da absorção de arsênio (As), em culturas como a do arroz inundado, a qual contém altos níveis de As (elemento cancerígeno), superando o acúmulo das demais culturas (WILLIAMS et al., 2007; SU et al., 2009) pois, nesse sistema é maior a disponibilidade da forma móvel As(III) (XU et al., 2008). Nessas condições redutoras, após a retirada do oxigênio, os elementos Fe, Mn e Al que estariam na forma de óxidos e hidróxidos, assumem forma reduzida e liberam para a solução o As que estaria ligados à esses compostos. Além disso, a forma arsenato (AsV) é reduzida à arsenito (AsIII), forma mais comum de As em áreas inundadas e de maior mobilidade na solução do solo (GARCIA-MANYES et al., 2002; TAKAHASHI et al., 2004).

Embora a concentração de As seja menor nos grãos em comparação com as folhas, dietas à base de arroz se tornam formas relevantes de ingestão de As por humanos (KILE et al., 2007), porém o acúmulo de As em arroz pode ser reduzido por exemplo, através de mudanças nas práticas de manejo da cultura (WANG et al., 2015), como por exemplo o uso de Si.

O arsenito é absorvido pela raiz da planta de arroz e transportado para o xilema pelos mesmos transportadores inicialmente identificados como os transportadores de Si na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), o que permite dizer que, por terem a mesma rota de absorção e transporte, a absorção de Si impede que o As seja absorvido (MA et al., 2008).

Guo et al. (2005, 2009) obtiveram efeito do Si na redução da concentração de As na raiz e na parte aérea do arroz cultivado em solução nutritiva com As(V) e As(III). Nessa mesma linha, Bogdan e Schenk (2008) cultivando arroz em seis diferentes áreas obtiveram correlação negativa entre o teor de Si na solução o solo e a concentração de As na palha e no grão polido. Ainda Li et al. (2009) encontraram redução significativa de As na palha e na casca do arroz em reposta à aplicação de Si no solo.

3. Silício na cultura da cana-de-açúcar

De acordo com Guntzer et al. (2012), dentre as dez principais culturas mais produzidas no mundo, sete são culturas acumuladoras de

Si, incluindo milho, arroz, beterraba sacarina, trigo e cana-de-açúcar. Ma et al. (2001) também considera a cana-de-açúcar como uma cultura acumuladora de Si e de acordo com Korndörfer e Datnoff (1995), em função disso pode ser encontrado até 6,7% de Si nos colmos e folhas velhas.

O Si é encontrado nas plantas principalmente sob a forma de sílica amorfa hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e apenas uma pequena parte (1%) se apresenta na forma iônica (TAKAHASHI, 1996). Nas folhas, o Si acumula-se abaixo da cutícula formando uma camada de sílica que contribui para fortalecer a estrutura da planta reduzindo perda de água (TAKAHASHI, 1995; KORNDÖRFER et al., 2002a) além de manter as folhas mais eretas, o que propicia melhor aproveitamento de luz solar e conseqüentemente maior aproveitamento fotossintético (DEREN et al., 1994; TAKAHASHI, 1995) e produção (PEREIRA et al., 2003).

Embora não seja considerado um nutriente essencial, o Si é o elemento mais absorvido pela cana-de-açúcar, seguido por N, K (os dois nutrientes mais absorvidos pela cultura) Ca e Mg (DATNOFF et al., 2001). Essa mesma relação é observada para o acúmulo de nutrientes, que no caso do Si pode chegar a 380 kg ha^{-1} na parte aérea enquanto K, N e P são acumulados, respectivamente, nas quantidades de 180, 140 e 20 kg ha^{-1} aos 12 meses de idade (SAMUELS, 1969). O acúmulo de Si pode ser ainda maior em função da produtividade esperada; por exemplo, para uma produtividade de 74 t ha^{-1} de cana, Ross et al. (1974) citam uma remoção de até 408 kg ha^{-1} de Si.

Cabe ressaltar que existe uma grande variabilidade genética quanto à capacidade das variedades de cana-de-açúcar em acumular Si e também nos teores de Si foliar que cada variedade apresenta (DEREN et al., 1993; CAMARGO et al., 2010).

A maior absorção e acúmulo do Si em relação aos demais nutrientes sugere que esse nutriente tenha funções fisiológicas e morfológicas importantes (SAMUELS, 1969), além do efeito já mencionado de aumento da capacidade fotossintética devido à melhoria na arquitetura da planta o que confere melhor interceptação da luz solar como mencionado anteriormente, o acúmulo de Si pode ainda aumentar a resistência ao estresse hídrico e diminuir os danos

provocados pelos ataques de pragas e doenças (KORNDÖRFER et al., 2002).

Quanto à resistência ao estresse hídrico, Faria (2000) afirma que quanto maior o teor de Si na planta, maior sua capacidade em tolerar falta de água no solo e, em relação aos estresses bióticos. O Si também pode ativar genes relacionados com a produção de fenóis e enzimas envolvidos com o mecanismo de defesa da planta (RODRIGUES et al., 2004).

Os efeitos benéficos do acúmulo de Si na cana-de-açúcar indicam que a adubação silicatada pode aumentar a produtividade da cana-de-açúcar, com efeitos observados também em cana soca, segundo Camargo (2014), o que sugeriria a inclusão do Si na adubação dessa cultura de modo a garantir a sustentabilidade da produção agrícola (KORNDÖRFER et al., 2002).

Os resultados que mostram aumento da produtividade da cultura em função da adubação com silicatos são concisos e mostram que não só no Brasil, mas em países como Estados Unidos, Austrália, África do Sul e Maurício essa prática pode aumentar a produtividade na cana-planta e na soqueira (CAMARGO, 2014) além de aumentar significativamente também a síntese de açúcar (FOLTRAN, 2013).

Em relação à aplicação de Si para a cultura da cana-de-açúcar, a mesma se justifica devido aos baixos teores de Si disponível em algumas classes de solo capazes de limitar ou não a produção, considerando que a cultura consegue se desenvolver sob pequenas quantidades de Si no solo, e a alta extração ao longo os ciclos consecutivos que fazem com que haja resposta favorável da cultura em relação à adubação com Si, o que sugere que esse nutriente possa ser necessário para o desenvolvimento normal da planta e essencial para a produção agrônômica sustentável da cultura da cana-de-açúcar (CAMARGO, 2011; SAVANT et al., 1999).

A aplicação de Si para a cultura da cana-de-açúcar pode auxiliar também contra aspectos como atraso na maturação e diminuição de sólidos solúveis no caldo da cana, característicos de plantas que se desenvolvem em solos com baixa disponibilidade de Si (BAIR, 1966).

A referida adubação com Si pode ser utilizada em substituição total ou parcial à aplicação de calcário, entretanto, se o solo já estiver corrigido, a quantidade aplicada não deve ser superior a 800 kg ha⁻¹ de

silicato devido ao efeito corretivo de acidez que maioria das fontes de Si aplicadas ao solo possuem quando utilizadas em dosagens superiores à essa (KORNDÖRFER et al., 2003). No entanto, por ser considerado pouco móvel na planta, pode haver a necessidade do fornecimento desse nutriente também em canaviais adultos e não só nos canaviais em implantação (DATNOFF et al., 2001), sendo a aplicação foliar uma opção.

4. Fontes de silício

A quantidade estimada de Si removida anualmente pelas diferentes culturas agrícolas em escala global está entre 210 e 224 milhões de toneladas (REIMERS, 1990; SAVANT et al., 1997) sendo que para as culturas acumuladoras de Si (por exemplo arroz, trigo e cana-de-açúcar), a remoção de Si do solo é significativamente maior que aquela obtida em ambientes naturais. Por exemplo, para cana-de-açúcar e arroz, as taxas de remoção de Si estão entre 300 e 500 kg ha⁻¹ ano⁻¹ respectivamente (MEYER; KEEPING, 2001; BLECKER et al., 2006; MAKABE et al., 2009).

Os processos que regulam a concentração de Si na solução do solo ocorrem imediatamente para repor o Si removido pelas plantas até que se mantenha o equilíbrio entre as fases líquida e sólida. Solos com elevado poder tampão facilmente repõem a extração do Si mantendo altos teores em solução. Entretanto, a reposição do Si absorvido em certos tipos de solo (por exemplo solos muito intemperizados, orgânicos, ou solos submetidos a cultivo intensivo) pode necessitar de algum tempo e, assim, esses tipos de solo requerem a aplicação de Si via fertilizantes ou outras fontes de Si com o intuito de aumentar a concentração de H₄SiO₄ na solução (TUBAÑA; HECKMAN, 2015).

A própria água utilizada na irrigação pode conter diferentes formas de Si, incluindo íons, moléculas e agregados. O Si é também adicionado ao solo via deposição atmosférica através de poeira e cinzas (KURTZ et al., 1987; STREET-PERROTT; BARKER, 2008; OPFERGELT et al., 2010). No entanto, esse Si proveniente da atmosfera contribui muito pouco para a solução do solo quando comparado com outras formas de adição de Si ao sistema solo-planta (STREET-PERROTT; BARKER, 2008).

Uma pequena quantidade de Si é adicionada ao solo via minerais insolúveis e resistentes ao intemperismo (KOVDA, 1985) e também a aplicação de esterco e compostos orgânicos ricos em Si pode, através da sua decomposição, aumentar o teor de Si disponível no solo (SONG et al., 2013).

Resíduos de plantas também podem ser caracterizados como fontes de Si quando incorporados ao solo. Alguns materiais como casca de arroz ou bagaço de cana apresentam concentração de Si considerável e a sua aplicação no campo em altas doses fornece Si, no entanto há ainda que se complementar o fornecimento desse nutriente via resíduos, com o uso de fertilizantes (GASCHO, 2001). Tubaña e Heckman (2015) citam também informações referentes ao uso de casca e palha de arroz, “biochar”, cinzas, pó de rocha, cimento e lamas provenientes de diversos tipos de processamento, como fontes de Si.

Dessa forma, muitos produtos têm sido utilizados como fontes de Si, dentre eles aparecem os subprodutos da indústria de siderurgia e da produção de fósforo elementar, metassilicatos de cálcio e de sódio, termofosfatos e silicatos de cálcio e magnésio.

Os silicatos de cálcio são compostos principalmente por CaSiO_3 e têm se tornado as principais fontes de Si para aplicação via solo. Sua ocorrência se dá na forma de cristais prismáticos de wollastonita (MAXIM et al., 2008), sendo esse meta-silicato considerado de padrão internacional, com elevada concentração de Si (no mínimo 50 % de SiO_2) e com resultados eficientes em vários solos com baixa disponibilidade de Si (KORNDÖRFER et al., 2004, GASCHO, 2001). No entanto, os depósitos de wollastonita não são encontrados na forma pura (silicato de cálcio) e, portanto, uso intenso de mão-de-obra e processos de refino onerosos são requeridos, o que limita a produção em massa de wollastonita como fertilizante (PARK, 2001; MAXIM et al., 2008) e o torna uma fonte de Si usada principalmente em pesquisas, com aplicação na forma de pó.

Materiais como silicatos de magnésio são constituídos principalmente de MgSiO_3 e contêm grandes quantidades de Si, mas não são considerados fontes solúveis de Si devido a sua baixa solubilidade (KORNDÖRFER et al., 2004, WEAST et al., 1985). Esses dois tipos de materiais (silicatos de cálcio e silicatos de magnésio) devem,

preferencialmente, ser comercializados na forma de pó, pois quanto mais finamente moído, maior sua reatividade e eficiência agrônômica (KORNDÖRFER et al., 2004).

Atualmente, subprodutos industriais contendo Si na sua composição são os materiais mais utilizados como fontes de Si. Esses subprodutos, tais como os provenientes da produção de P elementar e da produção de aço e de ferro apresentam baixo custo de obtenção e são fontes acessíveis de Si para a produção de culturas. Esses materiais geralmente apresentam uma pequena fração de Si solúvel (GASCHO, 2001) mas possuem benefícios intrínsecos tais como o efeito corretivo de acidez, tipicamente com equivalente similar ao carbonato de cálcio (HECKMAN et al., 2003) o que os torna boas opções pois as altas temperaturas utilizadas nos processos industriais disponibilizam o Si neles contido e aumentam sua solubilidade (GASCHO, 2001).

Em termos de composição e de quantidade de Si disponível para as plantas encontrados nessas fontes, os valores são bastante variáveis e essas diferenças se devem à variação na velocidade de resfriamento e ao tamanho final do grânulo do material. Pelo baixo custo e pelos teores de Si satisfatórios, os subprodutos fontes de Si apresentam melhor custo benefício que a wollastonita e, assim, para fins de manejo de adubação com Si, se torna essencial o conhecimento da quantidade de Si disponível que cada produto apresenta (TAKAHASHI, 1981; DATNOFF et al., 1992; DATNOFF et al., 2001; MA; TAKAHASHI, 2002).

Dentre os subprodutos industriais, aqueles provenientes da indústria siderúrgica são as fontes de Si mais abundantes e baratas. Esses materiais são originários do processamento, em altas temperaturas, do calcário com a sílica (SiO_2) presente no minério de ferro e em seu estado original, apresentam composição química e granulometria bastante variados, em função do tipo de processo, do minério de ferro e do sistema de forno utilizados. Suas altas concentrações de Ca e Mg possibilitam utilização como corretivo de acidez e como fonte desses nutrientes, especialmente para solos arenosos, com baixa fertilidade natural e baixa CTC. Como nos calcários, a reatividade desses subprodutos varia em função da granulometria, da dose utilizada, do tipo e solo e do tempo de contato entre o material e o solo (PIAU, 1991; NOVAIS et al.,

1993; AMARAL SOBRINHO et al., 1993; OLIVEIRA et al., 1994).

Outro exemplo de fonte de Si a ser citado é o Termofosfato, um fertilizante comercializado no Brasil como fonte de P, Ca e Mg que fornece também Si devido aos efeitos da alta temperatura utilizada sobre o silicato de magnésio presente no processo de obtenção desse material (GASCHO, 2001).

O uso de Si na agricultura pode se dar também por meio de formulações líquidas, as quais trazem vantagens tais como a facilidade de aplicação e o uso de doses variadas quando comparadas às fontes de Si sólido. Soluções à base de silicato de sódio e de potássio, além do uso de sílica gel, são opções para fornecimento de Si via folha, o que confere controle de algumas doenças no caso do silicato de potássio, ou via solo em culturas de alto valor agregado (MENZIES et al., 1992; BÉLANGER et al., 1995; GASCHO, 2001; KANTO et al., 2006; RODRIGUES et al., 2009; KAMENIDOU et al., 2010).

Qualquer que seja a fonte de Si a ser utilizada, algumas características a classificam como uma boa fonte de Si ou não, sendo elas: alta concentração de Si solúvel e disponibilidade imediata dos nutrientes, boas propriedades físicas que facilitem a aplicação mecanizada e baixo custo (GASCHO, 2001).

A ideia de utilização de uma fonte de Si é fornecer este elemento na forma solúvel para as plantas, em função disso uma boa fonte deve apresentar boa parte desse Si prontamente disponível. Ao mesmo tempo que a alta solubilidade é uma das características mais importantes de uma fonte de Si, é também uma das mais difíceis de ser obtida. Devido à combinação do Si com outros elementos, a maioria das fontes é insolúvel e encontrar uma fonte de boa solubilidade e que apresente também outras boas características é o desafio (GASCHO, 2001).

Outra dessas boas características importante em uma boa fonte de Si é possuir propriedades físicas que permitam boa qualidade de aplicação mecânica. Na maioria dos casos os subprodutos industriais utilizados como fontes de Si devem ser moídos e peneirados até que apresentem tamanho de partículas satisfatório. O teor de Si extraível aumenta à medida que o tamanho da partícula é reduzido, porém essa redução de tamanho resulta também em maior dificuldade de se fazer uma aplicação uniforme. Não existem informações na literatura que

orientem a indústria quanto ao tamanho de partícula ideal de modo a oferecer boa solubilidade e garantir qualidade e facilidade de aplicação, no entanto, as pesquisas nesse sentido feitas com calcário podem auxiliar também na produção de fontes de Si de melhor qualidade física (GASCHO, 2001).

Uma boa fonte de Si deve também estar disponível em áreas próximas ao local onde será aplicada, de modo a reduzir custos com transporte e assim, viabilizar a aplicação desse elemento nas áreas de produção agrícola (GASCHO, 2001).

Espera-se ainda que nos materiais utilizados para o fornecimento de Si não exista contaminantes, principalmente metais pesados, isso porque devido as elevadas doses aplicadas para suprir a quantidade de Si adequada, caso haja a presença desses metais, provenientes da origem ou do processo de obtenção do material, pode haver a elevação dos teores ou o fornecimento em níveis superiores aos permitidos e/ou tolerados (GASCHO, 2001).

5. Referências bibliográficas

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M.; DIAS, L. E.; BARROS, N. F. Aplicação de resíduo siderúrgico em um latossolo: Efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, p. 299-304. 1993.

ALLMARAS, R. R.; LAIRD, D. A.; DOUGLAS, C. L.; et al. Long-term tillage, residue management and nitrogen fertilizer influences on soluble silica in Haploxerol. **Journal of the American Society of Agronomy**, Washington, p. 323, 1991.

BAIR, R. A. Leaf Silicon in Sugarcane, Field Corn and St. Augustine grass grown on some Florida Soils. **Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings**, Belle Glade, v. 26, p. 63 - 70. 1966.

BAYLIS, A. D.; GRAGOPOULOU, C.; DAVIDSON, K. J.; et al. Effects of silicon on the toxicity of aluminum to soybean. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Nova Iorque, v. 25, p. 537 - 546, 1994.

BECKWITH, R. S.; REEVE, R. Studies on soluble silica in soils. I. The sorption of silicic acid by soils and minerals. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.1, p. 157–168, 1963.

BÉLANGER, R. R.; BOWEN, P. A.; EHRET, D. L.; et al. Soluble silicon its role in crop disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 79, p. 329–336, 1995.

BLECKER, S. W.; McCULLEY, R. L.; CHADWICK, O. A.; et al. Biological cycling of silica across a grassland bioclimesequence. **Global biogeochemical cycles**, Washington, v. 20, p. 1–11, 2006.

BOGDAN, K., SCHENK, M. K. Arsenic in Rice (*Oryza sativa* L.) Related to dynamics of arsenic and silicic acid in paddy soils. **Environmental science & technology (Washington). News & research notes**, Washington, v. 42, p. 7885–7890, 2008.

BROWN, T. H.; MAHLER, R. L. Effects of phosphorus and acidity on levels of silica extracted from a Palouse silt loam. **Journal / Soil Science Society of America**, Madison, v. 51, p. 674 – 677, 1987.

CAMARGO, M. S. de; KORNDÖRFER, G. H.; WYLER, P. Silicate fertilization of sugarcane cultivated in tropical soils. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 167, p. 64-75, 2014.

CAMARGO, M. S. de. Silício em cana-de-açúcar. **Pesquisa & Tecnologia**, Campinas, v.8, n. 2, jul./dez. 2011.

CAMARGO, M. S. de.; KORNDÖRFER, G. H.; FOLTRAN, D. E.; HENRIQUE, C. M.; ROSSETTO, R. Absorção de silício, produtividade e incidência de *Diatraea saccharalis* em cultivares de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 937- 944, 2010.

CHEN, H. M.; ZHENG, C. R.; TU, C.; et al. Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals. **Chemosphere**, Oxsford, v. 41, p. 229 – 234, 2000.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Safra 2016/17. v. 3, n. 3, 74 p. Dez./ 2016.

CONLEY, D. J.; SOMMER, M.; MEUNIER, J. D.; et al. Silicon in the terrestrial biogeosphere. In: ITTEKOT, V.; HUMBORG, C.; GARNIER, J. (Eds). **Land-ocean nutrient fluxes: silica cycle**. SCOPE Series v. 66, p. 13–28. 2006.

CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U. The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrence and uses. **VCH**, Weinheim / New York, 1996.

DATNOFF, L. E., SNYDER, G. H., KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. 403p.

DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, Oxford v.16, p.525–531, 1997.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; DEREN, C. W. Influence of silicon fertilizer grades on blast and brown spot development and yields of rice. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 76, p. 1011–1013, 1992.

DEREN, C. W., DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; MARTIN, F. G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 733 – 737. 1994.

DEREN, C. W.; GLAZ, B.; SNYDER, G. H. Leaf-tissue silicon content of sugarcane Genotypes grown on Everglades Histosols. **J. Plant Nutrition**, Monticello, v.16, n. 11, p. 2273 – 2280. 1993.

DIETZEL, M. Interaction of polysilicic and monosilicic acid with mineral surfaces. In: STOBER, I.; BUCHER, K. (Eds.). **Water-rock interaction**. Kluwer, Dordrecht, p. 207–235. 2002.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana de Açúcar**. Campinas, Instituto Agronômico. 2008.

FARIA, R. J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47 f. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2000.

FIGUEIREDO, P. A. M. Particularidades a respeito do potássio. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.24, n.6, p.25, 2006.

FOY, C. D. Soil chemical factors limiting plant root growth. **Advances in Soil Science**, Boca Raton, v. 19, p. 97–149, 1992.

FOLTRAN, R. **Aplicação foliar de silício associado ou não a maturadores em cana-de-açúcar**. 2013. 132 f. Tese de doutorado (Doutorado em Agronomia) – Faculdades de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

GARCIA-MANYES, S., JIMENEZ, G., PADRO, A., RUBIO, R., RAURET, G. Arsenic speciation in contaminated soils. **Talanta : an international journal of analytical chemistry**, Londres, v. 58, 97–109, 2002.

GASCHO, G. J. Silicon sources for agriculture. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. cap. 12. p.197-207.

GLADKOVA, K. F. The role of silicon in phosphate plant nutrition. **Agrochemistry**, S. l., v. 2, p. 133, 1982.

GU, H.; QUI, H.; TIAN, T.; et al. Mitigation effects of silicon rich amendments on heavy metal accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) planted on multi-metal contaminated acidic soil. **Chemosphere**, Oxford v. 83, p. 1234 – 1240, 2011.

GUNTZER, F.; KELLER, G.; MEUNIER, J. Benefits of plant silicon for crops: a review. **Agronomy for sustainable development**, Paris, v. 32, p. 201–213, 2012.

GUO, W., ZHANG, J., TENG, M., WANG, L. H. Arsenic uptake is suppressed in a rice mutant defective in silicon uptake. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, S. l., v. 172, p. 867–874, 2009.

GUO, W., HOU, Y. L., WANG, S. G., ZHU, Y. G. Effect of silicate on the growth and arsenate uptake by rice (*Oryza sativa* L.) seedlings in solution culture. **Plant Soil**, S. l., v. 272, p. 173–181, 2005.

HAAK, E.; SIMAN, G. **Field experiments with Oyeslag (Faltorsok med Oyeslag)**. Report 185, Uppsala. 1992.

HANSEN, H. C. B.; RABEN-LANGE, B.; RAULUND-

RASMUSSEN, K.; et al. Monosilicate adsorption by ferrihydrite and goethite at pH 3–6. **Soil Science**, Philadelphia v. 158, p. 40 – 46, 1994.

HECKMAN, J. R.; JOHNSTON, S.; COWGILL, W. Pumpkin yield and disease response to amending soil with silicon. **HortScience**, Alexandria, v. 38, p. 552–554, 2003.

ILER, R. K. **The chemistry of silica**. Wiley, New York, p. 621. 1979.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Effects of iron and aluminum oxides on silica in solution in soils. **Nature**, Londres, v. 198, p. 852–853, 1963.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Studies of silica in the oat plant. III. Uptake of silica from soils by plant. **Plant and Soil**, Crawley, v. 23, p. 79–96, 1965.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 107–149, 1967.

KAMENIDOU, S.; CAVINS, T. J.; MAREK, S. Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. **Scientific horticulture**, Kent, v. 123, p. 390–394, 2010.

KANTO, T.; MIYOSHI, A.; OGAWA, T.; et al. Suppressive effect of liquid potassium silicate on powdery mildew of strawberry in soil. **Journal of General Plant Pathology**, S. l., v. 72, p. 137–142, 2006.

KILE, M. L., HOUSEMAN, E. A., BRETON, C. V., SMITH, T., QUAMRUZZAMAN, Q., RAHMAN, M., MAHIUDDIN, G., CHRISTIANI, D. C. Dietary arsenic exposure in Bangladesh. **Environmental Health Perspectives**, Research Triangle Park, v. 115, p. 889–893, 2007.

KORNDÖRFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANDE S, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432p.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. **Boletim Técnico UFU**, n.1, 3ed. 2004.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio**. (Boletim Técnico UFU), 2003.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar, **Stab**, Piracicaba, v.21, p. 6-9, 2002.

KORNDÖRFER, G. H.; FARIA, R. J.; DATNOFF, L. F.; PEREIRA, L. E. Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico no solo. In: FERTBIO. 2002a. Rio de Janeiro 2002a. **Anais...** Rio de Janeiro: CPGA-CS/UFRRJ, 2002a, 1 CD-ROOM.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana de açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v.70, p.1-5, 1995.

KORNDÖRFER, G. H. A importância da adubação na qualidade da cana de açúcar: SÁ, M. E. de; BUZZETI, S. (Coordenadores). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. cap. 7, p. 133-142.

KOVDA, V. A. Biogeochemistry of soil cover. **Nauka Publication**, Moscow, p. 159- 179, 1985.

KURTZ, A. C.; DERRY, L. A.; CHADWICK, O. A. Accretion of Asiadust to Hawaiian soils: isotopic, elemental and mineral mass balances. **Geochimica et cosmochimica acta**, Londres, v. 65, p. 1971–1983, 1987.

LI, R. Y., STROUD, J. L., MA, J. F., MCGRATH, S. P., ZHAO, F. J. Mitigation of Arsenic Accumulation in Rice with Water Management and Silicon Fertilization. **Environmental science & technology**. News & research notes, Washington v. 43, p. 3778–3783, 2009.

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G. TSAI, S. M. O silício na agricultura. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 87, p. 1 – 7, 1999.

LINDSAY, W. L. Chemical equilibria in soils. **Wiley Interscience**, NewYork. 1979.

MA, J. F., YAMAJI, N., MITANI, N., XU, X. Y., SU, Y. H., MCGRATH, S. P., ZHAO, F. J. Transporters of arsenite in rice and their role in arsenic accumulation in rice grain. **PNAS**, S. l., v. 105, p. 9931–9935, 2008.

MA, J. E.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, Oxford, v.11, p. 392 – 397, 2006.

MA, J. E.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. **Silicon as a beneficial element for crop plant**. In: SILICON IN AGRICULTURE. DATNOFF, L. E., KORNDÖRFER, G. H., SNYDER, G. (Eds). New York: Elsevier science. 2001. p.17-39.

MA, J. E.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan**. Dordrecht: Elsevier. 2002.

MAEDA, A. S. **Adubação nitrogenada e potássica em socas de cana de açúcar com e sem queima em solos de cerrado**. 2009. 110f. Tese de doutorado (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MAKABE, S.; KAKUDA, K.; SASAKI, Y.; et al. Relationship between mineral composition or soil texture and available silicon in alluvial paddy soils on the Shounai Plain, Japan. **Soil science and plant nutrition**, Tokyo, v. 55, p. 300–308, 2009.

MATICHENCOV, V. V.; BOCHARNIKOVA, E. A. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (eds) **Silicon in agriculture**. Elsevier, Amsterdam, p 209–219. 2001.

MATICHENCOV, V. V.; AMMOSOVA, Y. M. Effect of amorphous silica on soil properties of asod-podzolic soil. **Eurasian Soil Science**, Moscow, v. 28, p. 87 – 99, 1996.

MAXIM, LD.; NIEBO, R.; LAROSA, S.; et al. Product stewardship in wollastonite production. **Inhalation Toxicology**, S.l., v. 20, p. 1199–1214, 2008.

McKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in soil solutions. I. The form and concentration of dissolved silica in aqueous extracts of some soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 43, p. 70–82, 1963.

MENZIES, J.; BOWEN, P.; EHRET, D.; et al. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, p. 902–905, 1992.

MEYER, J. H.; KEEPING, M. G. Past, present and future research of the role of silicon for sugar cane in southern Africa. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Eds.) **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. Cap. 16. p. 257–275.

MYHR, K.; ERSTAD, K. Converter slag a liming material on organic soils. **Norwegian journal of agricultural sciences**, As, v. 10, p. 81, 1996.

NORTON, L. D. Micromorphology of silica cementation in soils. In: RINGROSE-VOASE, A. J.; HUMPHREYS, G. S. (Eds.). **Soil micromorphology: studies in management and genesis**. **De Soil Sci**, S. l., v. 22, p. 811–824, 1984.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P.; TEIXIERA, J. L.; LEAL, P. G. L. **Eficiência agrônômica de escórias da Siderúrgica Pains**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993.

OLIVEIRA, A. C.; HAHNE, H.; BARROS, N. F.; MORAIS, E. J. Uso de escória de alto forno como fonte de nutrientes na adubação florestal. In: Seminário sobre o uso de resíduos florestais e urbanos em florestas, n. 1. **Anais...** Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, p. 77-96. 1994.

OPFERGELT, S.; CARDINAL, D.; ANDRÉ, L.; DELVIGNE, C.; BREMOND, L.; DELVAUX, B. Variations of ^{30}Si and Ge/Si with weathering and biogenic input in tropical basaltic ash soils under monoculture. **Geochimica et cosmochimica acta**, Londres, v. 74, p. 225–240, 2010.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana de açúcar. In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (Eds.). **Produção de cana de açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 133-146.

O'REILLY, S. E.; SIMS, J. T. Phosphorus adsorption and desorption in a sandy soil amended with high rates of coal fly ash. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Nova Iorque, v. 26, p. 2983, 1995.

PANOV, N. P.; GONCHAROVA, N. A.; RODIONOVA, L. P. The role of amorphous silicic acid in solonetz soil processes. **Vestnik Agr Sci**, S. l., v.11, p.18, 1982.

PARK, C. S. Past and future advances in silicon research in the Republic of Korea. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Eds.) **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. Cap. 22. p. 359–372.

PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C.; KORNDÖRFER, G. H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 101-108. 2003.

PIAU, W. C. **Viabilidade do uso de escórias como corretivos e fertilizantes**. 1991. 99 f. Dissertação (Mestrado), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

RAMOS, L. A. **Resíduos orgânicos e fertilizantes minerais na cultura da cana de açúcar e alterações nas características químicas do solo**. 2013. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

REIMERS, N. F. **Natural uses. Dictionary-Reference Book**. Moscow. 1990.

RODRIGUES, F. A.; DUARTE, H. S. S.; DOMICIANO, G. P. (2009) Foliar application of potassium silicate reduces the intensity of soybean rust. **Australasian Plant Pathology**, S.I., v. 38, p. 366–372, 2009.

RODRIGUES F. A.; MCNALLY, D. J.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; LABBE, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 94, p. 177-183, 2004.

ROSS, L.; NABABSING, P. CHEONG, Y. W. Y. Residual effect calcium silicate applied to sugarcane soils. In: **Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists Congress**. 15, Durban, 1974. Proc., v.2, p. 539 – 542, 1974.

SAMUELS, G. Silicon and Sugar. **Sugar y Azucar**, Engliword, v. 65, p. 25 – 29. 1969.

SAUER, D.; SACCONI, L.; CONLEY, D. J.; et al. Review of methodologies for extracting plant-available and amorphous Si from soils and aquatic sediments. **Biogeochemistry**, Lawrence, v. 80, p. 89–108, 2006.

SAVANT, N. K., KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon nutrition and sugarcane production: A review. **Journal of Plant Nutrition**, Nova Iorque, v. 12, n.22, p. 1853 – 1903. 1999.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 58, p.151- 199, 1997.

SCHINDLER, P. W.; FURST, B.; DICK, R.; et al. Ligand properties of surface silanol groups. I. Surface complex formation with Fe^{3+} , Cu^{2+} , Cd^{3+} , and Pb^{2+} . **Journal of Colloid and Interface Science**, Amsterdam, v. 55, p. 469, 1976.

SCHULTHESS, C. P.; TOKUNAGA, Y. Metal and pH effects on adsorption of poly (vinilalcohol) by silicon oxide. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 92, 1996.

SIEVER, R.; WOODFORD, N. Sorption of silica by clay minerals. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Hamilton, v. 37, p. 1851–1880, 1973.

SINGH, K. P.; SARKAR, M. C. Phosphorus availability in soil as affected by fertilizer phosphorus, sodium silicate and farm yard manure. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, Nova Delhi v. 40, p. 762 – 767, 1992.

SNYDER, G. H.; MATICHENKOV, V. V.; DATNOFF, L. E. (2007) Silicon. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J.; (Eds.). **Handbook of plant nutrition**. Taylor and Francis Group/CRC Press, Boca Raton, p. 551–565. 2007.

SNYDER, G. H.; JONES, D. B.; GASCHO, G. J. Silicon fertilization of rice on Everglades Histosols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, p. 1259–1263, 1986.

SONG, Z.; WANG, H.; STRONG, P. J.; et al. Increase of available silicon by Si-rich manure for sustainable rice production. **Agronomy for sustainable development**, Paris, doi:10.1007/s13593-013-0202-5, 2013.

STREET-PERROTT, F. A.; BARKER, P. Biogenic silica: a neglected component of the coupled global continental biogeochemical cycles of carbon and silicon. **Earth surface processes and landforms**, Sussex, v. 33, p. 1436–1457, 2008.

SU, Y. H., MCGRATH, S. P., ZHAO, F. J. Rice is more efficient in arsenite uptake and translocation than wheat and barley. **Plant Soil**, S. l., v. 328, p. 27–34, 2009

TAKAHASHI, Y., MINAMIKAWA, R., HATTORI, K. H., KURISHIMA, K., KIHOU, N., YUITA, K. Arsenic behavior in paddy fields during the cycle of flooded and non-flooded periods. **Environmental science & technology (Washington). News & research notes**, Washington, v.38, p. 1038–1044, 2004.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: **SCIENCE OF THE RICE PLANT: PHYSIOLOGY. Food and Agriculture Policy Research Center**, v.2, p. 420 – 433, 1240p., 1996.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHI, R.; et al. (Eds). **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. cap. 5, p. 420 – 433.

TAKAHASHI, K. Effects of slags on the growth and the silicon uptake by rice plants and the available silicates in paddy soils. **Bulletin of the Shikoku Agricultural Experiment Station**, Kagawa, v. 38, p. 75–114, 1981.

TOKUNAGA, Y. Potassium silicate: a slow release potassium fertilizer. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.30, p.55, 1991.

TUBAÑA, B. S.; HECKMAN, J. R. Silicon in Soils and Plants. In: RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. (Eds.). **Silicon and Plant Diseases**. Springer, p. 8 -51. 2015.

TUBAÑA, B.; NARAYANASWAMY, C.; DATNOFF, L. E.; et al. Changes in pH and extractable nutrients of selected soils from the Midwest and South USA as influenced by different rates of iron calcium silicate slag. ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings, Cincinnati, 21–24 Oct, 2012.

UNICA - UNIAO AGROINDUSTRIA CANAVIEIRA DE SAO PAULO. **Estatísticas. São Paulo: União da Agroindústria Canavieira de São Paulo, 2006.** Disponível em <<http://www.portalunica.com.br/acao/cana.jsp>>. Acesso: em 12 set. 2013.

VOLKOVA, V. V. Silicate content in soil solutions and natural waters of the Russian plain. In: KOVDA, V. A. (Ed.). **Pedological and biogeocenotic research of the Russian lowland centre.** Nauka Publication, Moscow. 1980.

WANG, X., PENG, B., TAN, C., MA, L., ANDRATHINASABAPATHI, B. Recent advances in arsenic bioavailability, transport, and speciation in rice. **Environ. Sci. Pollut. Res. Int.**, S. 1., v. 22, p. 5742–5750, 2015.

WEAST, R. C.; AASTLE, M. J.; BEYER, W. H. **Handbook of chemistry and physics**, 65th ed. Boca Raton: CRC Press. 1985.

WEDEPOHL, K. H. The composition of the continental crust. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Hamilton, v. 59, p. 1217–1232, 1995.

WILLIAMS, P. N., VILLADA, A., DEACON, C., RAAB, A., FIGUEROLA, J., GREEN, A. J., FELDMANN, J., MEHARG, A. A. Greatly enhanced arsenic shoot assimilation in rice leads to elevated grain levels compared to wheat and barley. **Environmental science & technology (Washington). News & research notes**, Washington, v. 41, p. 6854–6859, 2007.

XU, X. Y., MCGRATH, S. P., MEHARG, A. A., ZHAO, F. J. Growing rice aerobically markedly decreases arsenic accumulation. **Environmental science & technology. News & research notes**, Washington, 42, 5574 – 5579, 2008.

USO DE INSETICIDAS BOTÂNICOS: POTENCIAL, DESAFIOS E PERSPECTIVAS



8

ROBSON THOMAZ THULER

VÍCTOR PEÇANHA DE MIRANDA COELHO

LUIZ CARLOS SCALON CUNHA

ÉDIMO FERNANDO ALVES MOREIRA

Professores EBTB, Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Campus Uberaba. Rua João Batista Ribeiro, n.4000. CEP 38064-400. Uberaba, MG. E-mails: rtthuler@iftm.edu.br, victorcoelho@iftm.edu.br, luiscunha@iftm.edu.br, edimo@iftm.edu.br.

GABRIELLE CLÉRIE GONÇALVES SILVA

GERALDO JOSÉ CARNEIRO NETO

BIANCA CRISTINA DOS SANTOS

JAN CORNELIS VAN KEMPEN

Estudantes de Iniciação Científica, Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Campus Uberaba. Rua João Batista Ribeiro, n.4000. CEP 38064-400. Uberaba, MG. E-mails: gabriellecterie44@gmail.com, geraldoj.carneironeto@gmail.com, bihcristina@hotmail.com, jankempen15@hotmail.com

1. Introdução

A utilização de agrotóxicos tem contribuído para o aumento da produção agrícola, entretanto, o uso incorreto e indiscriminado durante várias décadas levou à acumulação de resíduos tóxicos em alimentos, contaminação da água e do solo, intoxicação de produtores rurais e seleção de pragas resistentes (MENEZES 2005; THULER et al. 2007; CORRÊA & SALGADO 2011; ALYOKHIN & CHEN 2017; MOSTAFALOU & ABDOLLAHI 2017; WOOD & GOULSON 2017). É crescente o interesse por substâncias que apresentem menor risco à saúde humana e ao ambiente e, também, por alimentos saudáveis e isentos de resíduos de tóxicos. Existem cerca de 250 mil espécies de plantas no planeta, das quais, aproximadamente, 47 mil espécies são encontradas no Brasil (GIULIETTI et al. 2005; Flora do Brasil 2020). Felizmente, são inúmeras as plantas que apresentam atividade inseticida e que podem ser estudadas e introduzidas nas propriedades agrícolas como forma principal ou alternativa de controle de pragas (MENEZES 2005; THULER et al. 2007; CORRÊA & SALGADO 2011; PAVELA 2016).

Os inseticidas botânicos são compostos resultantes do metabolismo secundário das plantas que agem como uma defesa química natural contra insetos herbívoros. Os princípios ativos inseticidas podem ser encontrados em toda a planta ou em partes dela, como folhas, flores e até sementes (MENEZES 2005; CORRÊA & SALGADO 2011; PAVELA 2016). Podem ser classificados em dois grupos de acordo com sua produção: (I) não são distribuídos comercialmente, trata-se de plantas cultivadas que têm ação inseticida advinda do conhecimento popular que é passado de geração em geração, geralmente, com uso local; (II) são produtos manufaturados e comercializados, usualmente, por pequenas companhias. Talvez o inseticida botânico mais conhecido no mundo todo seja o óleo de Nem (*Azadirachta indica* A. Juss.) (PAVELA 2016). As plantas podem ser usadas *in natura* ou secas e moídas para obtenção de extratos brutos concentrados. Algumas substâncias botânicas que têm atividade inseticida conhecida são aspiretrinas, rotenona, nicotina, cevadina, veratrídina, rianodina, quassinoides, azadiractina e os biopesticidas voláteis. Estes últimos são, normalmente, óleos essenciais presentes nas plantas aromáticas (MENEZES 2005; CORRÊA & SALGADO 2011; PAVELA 2016).

O uso de inseticidas botânicos possui vantagens, pois são substâncias com tempo de meia vida curto e de fácil degradação na natureza; apresentam menor risco de desenvolvimento de resistência pelos insetos, pois normalmente são misturas de substâncias (ocorre efeito sinérgico de mais de um princípio ativo); apresentam menor risco para inimigos naturais como besouros e aranhas; apresentam poucos halogênios e, conseqüentemente, menor risco de impacto ambiental (MENEZES 2005; CORRÊA & SALGADO 2011; PAVELA 2016).

Os inseticidas botânicos foram muito populares e importantes entre as décadas de 30 e 40, e o Brasil foi grande produtor e exportador destes produtos. Posteriormente, os inseticidas botânicos foram gradativamente substituídos pelos sintéticos, pois os naturais apresentavam problemas como variações na eficiência, devido a diferenças na concentração do ingrediente ativo entre plantas e baixo efeito residual, que obrigava a se fazer várias aplicações em períodos curtos (MENEZES 2005; CORRÊA & SALGADO 2011).

Atualmente, a falta de extratos padronizados, número pequeno de plantas estudadas, pouco conhecimento prático de aplicação, poucos produtos disponíveis no mercado, falta de estabilidade das substâncias no ambiente e, sobretudo, a baixa aceitação dos grandes produtores, são entraves que devem ser superados para a utilização de inseticidas botânicos (MENEZES 2005; CORRÊA & SALGADO 2011; PAVELA 2016).

O uso de extratos vegetais para o combate de pragas agrícolas está em consonância com as políticas públicas de incentivo às práticas de base agroecológica e orgânica, tendência que se consolida a cada dia e que carece de novas tecnologias (decreto presidencial nº 7.794 de 20 de agosto de 2012). Essa procura por produtos mais limpos e ambientalmente corretos tem gerado nichos para a introdução dos produtos botânicos para o controle de insetos-praga das mais diferentes espécies, principalmente, por sua possibilidade de utilização e compatibilidade com o Manejo Integrado de Pragas, bem como pela adequação as normas de empresas certificadoras da produção orgânica de alimentos (LIMA et al. 2008; ISMAN et al. 2011; ZANARDI et al. 2015). Tanto extratos vegetais como microorganismos ou os dois juntos podem ser utilizados na confecção de um bioinseticida. Assim, trata-se de um estudo interdisciplinar abrangente que engloba botânica, fitoquímica, entomologia, microbiologia, ecologia entre outras áreas (MENEZES 2005; CORRÊA & SALGADO 2011; SILVA et al. 2008; PAVELA 2016).

Embora existam problemas para utilização de inseticidas botânicos, eles podem contribuir muito para diminuir os riscos à saúde humana e ao meio ambiente, bem como para atender à demanda crescente por produtos alimentícios saudáveis e isentos de resíduos de agrotóxicos.

2. Inseticidas botânicos: um enfoque nas pragas *Plutella xylostela* e *Spodoptera frugiperda*

A lagarta militar ou lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* Smith (1797) é relatada como altamente destrutiva em culturas como milho, sorgo, algodão, soja e arroz, tendo sua dinâmica populacional altamente influenciada pelo grande número de espécies

hospedeiras conhecidas (mais de 80) (CRUZ et al. 2009). Viana *et al.* (2006) afirmaram que *S. frugiperda* chegava a ocasionar até 38% de perdas devido à ocorrência dessa praga em todos os estádios de desenvolvimento do milho. Figueiredo *et al.* (2006) referem-se à lagarta militar como a principal praga da cultura do milho, cujos danos podem causar perdas no rendimento de grãos em até 54,5%. Essas perdas são dependentes das condições climáticas e do estágio de desenvolvimento das plantas atacadas (DEQUECH et al. 2013; RIBEIRO et al. 2014). Outra praga de difícil controle e alto potencial destrutivo é a traça-das-crucíferas *Plutella xylostella* L. (1758), principal praga nos cultivos de brássicas que tem sido relatada em todos os continentes. A ampla ocorrência da traça aliada ao seu elevado potencial biótico foram fatores determinantes para que se tornasse alvo de pesquisas por todo o país, visando à obtenção de medidas de controle tecnicamente mais adequadas, economicamente satisfatórias e ecologicamente corretas (THULER et al. 2007).

Para controlar *S. frugiperda*, a principal estratégia tem sido a aplicação de inseticidas sintéticos, geralmente, de custo elevado, com alto risco de toxicidade e de contaminação ambiental (VIANA et al. 2006). O mesmo acontece com a traça-das-crucíferas, sendo esta, relatada por Georghiou & Lagunes-tejada (1991), como um dos insetos com mais relatos de resistência a inseticidas químicos. No caso da lagarta-do-cartucho, há, ainda, outros complicadores, como a utilização de plantas transgênicas com tecnologia Bt (*Bacillus thuringiensis*), às quais o inseto tem demonstrado elevados graus de resistência, frequentemente, após cinco ou oito anos de utilização ininterrupta de um mesmo evento (Híbrido transgênico), sem o plantio de áreas de refúgio.

No Brasil, os trabalhos realizados visando ao controle de *Spodoptera frugiperda* (lagarta-do-cartucho), com plantas inseticidas, tem-se concentrado basicamente em espécies da família Meliaceae: *Nim* (*Azadirachta indica*) e *Trichilia casaretti* C. DC., *T. catigua* A. Juss., *T. clauseni* C. DC., *T. elegans* A. Juss., *T. pallens* C. DC., *T. pallida* Sw.; Dioscoreaceae: Inhame (*Dioscorea rotundata* Poir.) e Amaranthaceae: Mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.), ao longo dos anos. O extrato utilizado tem sido o aquoso. As metodologias para os bioensaios têm variado entre a embebição de cubos de dieta artificial ou de discos

foliares de milho nos extratos-alvo, com o posterior fornecimento desses alimentos às lagartas para a quantificação da mortalidade (BOGORNÍ & VENDRAMIM 2003; PRATES et al. 2003; TRINDADE et al. 2015). Bons resultados foram obtidos com o Nim, que atingiu 100% de mortalidade na dosagem de 10,000 mg mL⁻¹ (PRATES et al. 2003). Em trabalhos mais recentes, Haas et al. (2014) observaram mortalidades variando em 61,7 a 83,3%, para extratos de fruto de *Capsicum baccatum* L. (pimenta), *Mikania laevigata* Sch. Bip. Ex Backer (guaco), *Eucalyptus robusta* Sm. (eucalipto) e folha de *C. baccatum*, além de afetarem outras características biológicas que reduzem o crescimento populacional ao longo de gerações. Resultados promissores, também, foram observados com a utilização de extrato etanólico de sementes de *Annona mucosa* Jacq. que ocasionou redução na viabilidade de lagartas e pupas, além de resultar na formação de insetos deformados e retenção de exúvia nas diferentes fases de desenvolvimento de *S. frugiperda* (RIBEIRO et al. 2016).

Para *Plutella xylostella* (traça-das-crucíferas), pesquisadores de todo país têm realizado testes com as mais variadas famílias de plantas: Leguminosae, Euphorbiaceae, Meliaceae, Myrtaceae, Cecropiaceae, Menispermaceae, Lauraceae, Apocynaceae, Myrtaceae e Convolvulaceae, são exemplos de famílias exploradas. Destacam-se os extratos de *Azadirachta indica* (sementes), *Aspidosperma pyrifolium* Mart. (casca), *Cissampelos* aff. *glaberrima* (raiz) e *Laurus nobilis* (folha), considerados promissores para o controle de *P. xylostella* (TORRES et al. 2001). Destes, *Aspidosperma pyrifolium* e *Azadirachta indica*, foram apontados com potencial para utilização no manejo integrado da traça-das-crucíferas por seus efeitos inseticida e insetistático (TORRES et al. 2006). Contudo, comercialmente, ocorre o mesmo observado para a lagarta-do-cartucho, com testes promissores que, no entanto, são encerrados antes das análises químicas dos compostos, impedindo que sejam elucidadas as substâncias que concorreriam para a elaboração de um produto para o mercado.

A eficácia de produtos vegetais pode ser ainda mais conclusiva quando se observa que as respostas de mortalidade se aproximam ou mesmo se igualam a de produtos sintéticos, amplamente utilizados, como observado para *Azadirachta* (extraída a partir de *A. indica*)

e para o ácido pirolenhoso (Biopirol), que causaram mortalidade igual ou próxima à mortalidade causada pelo inseticida regulador de crescimento de insetos, Lufenorum (Match) em testes com *P. xylostella* (THULER et al. 2007).

Os fatores anteriormente relacionados nortearam a criação do Núcleo de Bioprospecção em Produtos Naturais (NuBiProN) do IFTM (Instituto Federal do Triângulo Mineiro) e subsidiaram a decisão de eleger as duas pragas em questão, como alvos dos estudos de controle com os extratos obtidos a partir das plantas. Para as quais, destacam-se os primeiros resultados de controle, descritos na sequência desse texto. Os dados do NuBiProN demonstram a potencialidade da extratoteca em formação no IFTM *Campus* Uberaba para o controle de *Plutella xylostella* e *Spodoptera frugiperda*. Na tabela 1 e Figura 1, podem ser observados resultados obtidos por meio de uma triagem de atividade inseticida de 11 extratos vegetais na diluição de 1%.

Tabela 1. Bioprospecção de plantas com potencial inseticida para o controle de *Plutella xylostella***

Tratamento	Mortalidade larval (%)*	Mortalidade total (%)*
Nim produto comercial	100a	100a
Extrato etanólico de Quitoco	99a	99a
Extrato etanólico de Açafraão-da-terra	93b	95b
Inseticida sintético Game	93b	94b
Extrato etanólico de Alfavacão	86c	94b
Extrato aquoso de Assa-peixe	85c	86c
Extrato aquoso de Quitoco	66d	78d
Extrato etanólico de Pimenta-de-macaco	59e	78d
Extrato aquoso de Cidreira	51f	76e
Extrato etanólico de Assa-peixe	49g	68f
Extrato etanólico de Cidreira	49g	67f
Extrato aquoso de Cana-de-macaco	47h	66f
Testemunha	47h	62g
Extrato aquoso de Pimenta-de-macaco	35i	55h

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula pertencem ao mesmo grupo de acordo com o agrupamento de médias Scott-Knott a 5% de probabilidade.

**Larvas 2º ínstar.

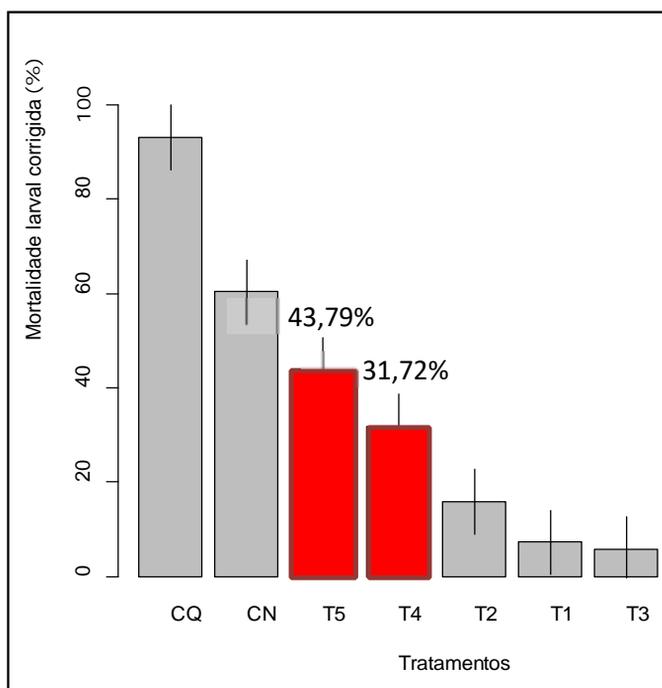


Figura 1. Bioprospecção de plantas com potencial inseticida para o controle de *Spodoptera frugiperda* (larvas 2º ínstar). Legendas: CQ (controle químico), CN (controle Nim), T1 (Pimenta-de-macaco etanólico), T2 (Açafrão etanólico), T3 (Assa-peixe etanólico), T4 (Assa-peixe aquoso), T5 (Pimenta-de-macaco aquoso).

Essa triagem faz parte do início da trajetória para o desenvolvimento de um inseticida botânico. A partir dela, pode-se realizar o estudo químico biomonitorado dos extratos. Deve-se, também, determinar a CL_{50} (menor concentração para matar 50% da população de insetos). Na maioria dos estudos, a CL_{50} é muito alta, o que levaria à necessidade de enormes quantidades de matéria prima, inviabilizando o controle em grandes áreas rurais ou urbanas (MASETTI 2016). Mesmo os trabalhos que não determinam a CL_{50} , utilizam doses altas dos extratos, chegando a 10% na maioria das vezes (Brito et al. 2004; TAVARES & VENDRAMIM 2005; BOGORNI & VENDRAMIM 2003; BOIÇA JR. et al. 2013; HAAS et al. 2014; TRINDADE et al. 2015). Por outro lado, isto não inviabiliza o uso de inseticidas botânicos por pequenos produtores ou o uso doméstico,

sobretudo, em países subdesenvolvidos da América do Sul, África e Sul da Ásia, onde o custo dos inseticidas sintéticos é alto (MASETTI 2016). Outro problema é a falta de informações sobre a toxidez dos inseticidas botânicos sobre mamíferos e sobre as culturas agrícolas (MASETTI 2016), que deve ser alvo deste tipo de estudos a partir da obtenção dos resultados e isolamento das substâncias químicas envolvidas no processo.

A falta de um trabalho sistematizado gera uma grande desconexão entre os dados de bancada obtidos em laboratório e a prática do controle do inseto em campo (MASETTI 2016). A sistematização da pesquisa nessa área pode ser feita a partir de grandes coleções de extratos vegetais (extratotecas) que serão a base para estudos de bioprospecção da atividade inseticida em plantas. Numa extratoteca, são tomadas medidas como coleta e identificação das espécies vegetais por botânicos especialistas; depósito de material testemunho (exsicatas) em herbários; elaboração de um banco de dados com informações de localização (inclusive coordenadas geográficas), nomes vernaculares da plantas, usos populares, bem como padronização do processo de confecção e armazenamento dos extratos, perfil fitoquímico do extrato, isolamento de princípios ativos, entre outras que permitam o amplo acesso à biodiversidade com rastreabilidade e segurança (Fig. 2).

Mas, também, é preciso melhorar a qualidade e reprodutibilidade dos inseticidas botânicos. Para isso, algumas ações planejadas e coordenadas precisam ocorrer, como: prática de cultivos comerciais das plantas de interesse, já realizados para o Nim e *Chrysanthemum* (PAVELA 2016), isso permitirá atingir o volume de matéria-prima desejado e irá diminuir as variações do princípio ativo entre plantas; há necessidade da padronização dos extratos vegetais (PAVELA 2016), como já é realizado para os fitoterápicos (Consolidado de normas da COFID-ANVISA 2015); e, sobretudo, **é necessário muito investimento em pesquisas que permitam um maior entendimento sobre o comportamento e bioatividade dos princípios ativos, sobre formulações que propiciem** uma maior estabilidade das moléculas e sobre micro e nano-encapsulação que permitam a liberação controlada dos inseticidas botânicos (PAVELA 2016).



Figura 2. Padronização da confecção dos extratos brutos concentrados para inclusão na extratoteca. A. Secagem do material vegetal. B e C. droga vegetal em pó. D e E. Extração com água ou etanol. F e G. Obtenção do extrato concentrado em evaporador rotatório e, ou liofilizador. H. extrato bruto concentrado.

3. Considerações finais

Apesar do conhecimento e utilização empírica de plantas em praticamente todas as regiões do globo terrestre (com as mais variadas funcionalidades: medicinal, construção de utensílios, rituais religiosos, alelopatia, inseticida, nematocida) são, principalmente, as indústrias farmacêuticas e a de cosméticos, que figuram como as únicas a se beneficiar do vasto patrimônio biológico existente nos diferentes habitats do nosso planeta.

Ao longo de gerações, extratos de plantas e inseticidas naturais têm auxiliado a agricultura, porém estamos longe de explorar todo o seu potencial. Existem cerca de 250 mil espécies de plantas no planeta, das quais, aproximadamente, 47 mil espécies são encontradas no Brasil. Destas, apenas cerca de 8% foram estudadas do ponto de vista fitoquímico e, apenas 1% do ponto de vista farmacológico e, normalmente, os estudos se concentram em males e doenças humanas. No que se refere ao potencial do uso da biodiversidade para o combate de pragas e doenças de plantas, o cenário é alarmante. Seja por meio da utilização de extratos vegetais brutos, de suas frações ou mesmo de moléculas isoladas (princípio ativo ou moléculas como protótipos para síntese química), muito pouco foi feito até o momento, de modo que há grande lacuna nesta área da ciência.

O que se propõe, então, é a sistematização de estudos para verificar esse potencial. Para isso, é essencial a construção de extratotecas que serão a base para os estudos bioprospecção. Deve-se dar ênfase ao estudo fitoquímico biomonitorado em larga escala. É importante, também, atentar que um único grupo de pesquisa dificilmente irá conseguir executar todas as etapas necessárias ao desenvolvimento de um bioinseticida, daí a necessidade de parcerias e até mesmo redes de pesquisa nesta área. Dessa forma, este estudo auxilia o desenvolvimento da agricultura convencional ou de base agroecológica, independente da forma de exploração ser de alta precisão ou ser de subsistência, levando tanto à indústria quanto ao pequeno agricultor a tecnologia necessária para alcançar o máximo em sua atividade.

4. Referências bibliográficas

ALYOKHIN, A. & CHEN, Y.H. Adaptation to toxic hosts as a factor in the evolution of insecticide resistance. **Current Opinion in Insect Science**, 21: 33–38, 2017.

BOGORNI, P.C. & VENDRAMIM, J.D. Bioatividade de extratos aquosos de *Trichilia* spp. sobre *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em Milho. **Neotropical Entomology**, 32(4): 665-669, 2003.

BOIÇA JÚNIOR, A.L.; JANINI, J.C.; SOUZA, B.H.S.; *et al.* Efeito de cultivares de repolho e doses de extrato aquoso de Nim na alimentação e biologia de *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae). **Bioscience Journal**, 29(1): 22-31, 2013.

BRITO, C.H.; MEZZOMO, J.A.; BATISTA, J.L.; *et al.* Bioatividade de extratos vegetais aquosos sobre *Spodoptera frugiperda* em condições de laboratório. **Manejo integrado de plagas y agroecología**, 71: 41-45, 2004.

CORRÊA, J.C.R. & SALGADO, H.R.N. Atividade inseticida das plantas e aplicações: revisão. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, 13(4): 500-506, 2011.

CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M.L.C.; SILVA, R.B.; *et al.* Monitoramento de parasitoides de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em municípios de Minas Gerais, Brasil. **EMBRAPA Milho e Sorgo, Documentos 92**, 2009.

DEQUECH, S.T.B.; CAMERA, C.; STURZA, V.S.; *et al.* Population fluctuation of *Spodoptera frugiperda* eggs and natural parasitism by *Trichogramma* in maize. **Acta Scientiarum Agronomy**, 35: 295-300, 2013.

FIGUEIREDO, M.L.C.; MARTINS-DIAS, A.M.P.; CRUZ, I. Relação entre a lagarta-do-cartucho e seus agentes de controle biológico natural na produção de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41: 1693-1698, 2006.

FLORA DO BRASIL 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 09 Out. 2017.

GEORGHIOU, G. & LAGUNES-TEJADA, A. **The occurrence of resistance to pesticides in arthropods: An index of cases reported through 1989**. Rome: FAO, 1991.

GIULIETTI, A.M.; HARLEY, R.M.; QUEIROZ, L.P.; *et al.* Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil. **Megadiversidade**, 1(1): 52-61, 2005.

HAAS, J.; GARCIA, B.C.; ALVES, L.F.A *et al.* Efeito de extratos aquosos vegetais sobre a lagarta-do-cartucho. **Arquivo do Instituto de Biologia**, 81(1): 79-82, 2014.

ISMAN, M.B.; MIRESMAILLI, S.; MACHIAL, C. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. **Phytochemistry Reviews**, 10: 197-204, 2011.

LIMA, J.F.M.; GRÜTZMACHER, A.D.; CUNHA, U.S.; *et al.* Ação de inseticidas naturais no controle de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho cultivado em agroecossistema de várzea. **Ciência Rural**, 38: 607-613, 2008.

MASETTI, A. The potential use of essential oils against mosquito larvae: a short review. **Bulletin of Insectology**, 69(2): 307-310, 2016.

MENEZES, E.L.A. **Inseticidas botânicos: seus princípios ativos, modo de ação e uso agrícola**. Embrapa Agrobiologia, Seropédica, Rio de Janeiro, 2005.

MOSTAFALOU, S. & ABDOLLAHI, M. Pesticides: an update of human exposure and toxicity. **Arch Toxicol**, 91: 549-599, 2017.

PRATES, H.T.; VIANA, P.A.; WAQUIL, J. M. Atividade de extrato aquoso de folhas de nim (*Azadirachta indica*) sobre *Spodoptera frugiperda*. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 38(3): 437-439, 2003.

- PAVELA, R. History, Presence and Perspective of Using Plant Extracts as Commercial Botanical Insecticides and Farm Products for Protection against Insects—a Review. **Plant Protection Science**, 52(4): 229–24, 2016.
- RIBEIRO, L.P.; DEQUECH, S.T.B.; CAMERA, C.; *et al.* Vertical and temporal distribution of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) egg masses, parasitized and non-parasitized, on maize plants. **Maydica**, 59: 1-6, 2014.
- RIBEIRO, L.P.; ANSANTE, T.F.; VENDRAMIM, J.D. Efeito do extrato etanólico de sementes de *Annona mucosa* no desenvolvimento e comportamento alimentar de *Spodoptera frugiperda*. **Bragantia**, 75(3): 322-330, 2016.
- SILVA, A.B.; BESERRA, E.B.; DANTAS, J.P. Utilização de *Metarhizium anisopliae* e extratos vegetais para o controle de *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) em milho. **Engenharia ambiental**, 5: 77-85, 2008.
- TAVARES, M.A.G.C. & VENDRAMIM, J.D. Bioatividade da Erva-de-Santa-Maria, *Chenopodium ambrosioides* L., sobre *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae). **Neotropical Entomology**, 34(2): 319-323, 2005.
- THULER, R.T.; BORTOLI, S.A.; BARBOSA, J.C. Eficácia de inseticidas químicos e produtos vegetais visando ao controle de *Plutella xylostella*. **Científica**, 35(2): 166-174, 2007.
- TORRES, A.L.; BARROS, R.; OLIVEIRA, J.V. Efeito de plantas no desenvolvimento de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). **Neotropical Entomology**, 30: 151-156, 2001.
- TORRES, A.L.; BOIÇA JÚNIOR, A.L.; MEDEIROS, C.A.M.; *et al.* Efeito de extratos aquosos de *Azadirachta indica*, *Melia azedarach* e *Aspidosperma pyrifolium* no desenvolvimento e oviposição de *Plutella xylostella*. **Bragantia**, 65: 447-457, 2006.
- TRINDADE, R.C.P.; FERREIRA, E.S.; GOMES, I.B.; *et al.* Extratos aquosos de inhame (*Dioscorea rotundata* Poirr.) e de mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.) no desenvolvimento da lagarta-do-cartucho-do milho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, 17(2): 291-296, 2015.

VIANA, P.A.; PRATES, H.T.; RIBEIRO, P.E. de A. Uso do extrato aquoso de folhas de Nim para o controle de *Spodoptera frugiperda* na Cultura do Milho. **Circular Técnica 88, EMBRAPA, 2006.**

WOOD, T.J. & GOULSON, D. The environmental risks of neonicotinoid pesticides: a review of the evidence post 2013. **Environmental Science and Pollution Research, 24:** 17285–17325, 2017.

ZANARDI, O.Z.; RIBEIRO, L.P.; ANSANTE, T.F.; *et al.* Bioactivity of a matrine-based biopesticide against four pest species of agricultural importance. **Crop Protection, 67:** 160-167, 2015.

FERTILIZANTES NPK: PRODUÇÃO E DINÂMICA DOS NUTRIENTES NO SOLO E NA PLANTA



RAFAEL TADEU DE ASSIS
Engenheiro Agrônomo, Me., Professor no Centro Universitário do Planalto de Araxá –
UNIARAXÁ. E-mail: rafaelassis@uniaraxa.edu.br

HENRIQUE JOSÉ GUIMARÃES MOREIRA MALUF
Doutor em ciência do solo, consultor agrícola. E-mail: maluf.henrique@yahoo.com.br

1. Introdução

O Brasil, no cenário global, é considerado grande potência agrícola e ocupa destaque no agronegócio, sendo o quarto maior consumidor mundial de fertilizantes e um dos principais importadores desses insumos essenciais à produção agrícola. A importância dos fertilizantes está intrínseca a sua própria constituição, em que veiculam elementos químicos essenciais para um adequado crescimento, desenvolvimento e produção de todos os vegetais comercialmente explorados na agricultura. Desse modo, o uso de fertilizantes garante não somente a pujante agricultura nacional, mas o aumento da oferta de alimentos e da segurança alimentar global.

Dentre os fertilizantes mais consumidos no Brasil estão aqueles constituídos basicamente por nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Em 2016, o consumo de NPK na agricultura brasileira foi o maior desde 1950, totalizando 15,3 milhões de toneladas, cerca de 12% a mais do que em 2015 (IPNI, 2017), seguido do consumo de calcário, com aumento de 8% (ABRACAL, 2017). Esses dados refletem o crescimento da agricultura e, aliado a isso, um aumento nos patamares tecnológicos dos sistemas de produção.

Assim, o presente capítulo relata, de forma resumida, as principais características de produção dos fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássico. Destaca, também, a dinâmica de N, P e K no solo, após a aplicação de suas respectivas fontes, bem como sua importância para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

2. Fertilizantes nitrogenados

As maiores quantidades de nitrogênio (N) encontram-se na litosfera, sendo que a forma gasosa (N_2) é encontrada em alta concentração na atmosfera. Apesar da abundância, o N_2 é inerte e inacessível à maioria dos organismos vivos. Esta característica decorre da estabilidade da ligação covalente entre os dois átomos de N que compõem a molécula de N_2 . Para ser transformado em formas biologicamente ativas (forma absorvível), a molécula de N_2 deve passar pelo processo genericamente denominado de “fixação”. Alguns microrganismos têm a capacidade de promover a fixação do N atmosférico, no entanto, grande parte do N empregado na produção agrícola provêm de fertilizantes que baseiam-se na fixação industrial do N_2 (MALAVOLTA; MORAES, 2006).

No início do século XXI, desenvolveu-se um processo para a fixação do N atmosférico através da síntese de nitrato de cálcio pelo processo do arco voltaico.

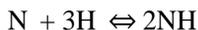
Em 1913, Haber e Bosh na Alemanha, deram origem à moderna indústria de fertilizantes nitrogenados, por meio da síntese de amônia a partir do N e hidrogênio, utilizando coque como matéria prima. Posteriormente, passou utilizar o gás natural, o gás de refinaria, o resíduo asfáltico e mais recentemente a água por meio de sua hidrólise. Atualmente, a amônia é matéria-prima básica para a produção de fertilizantes nitrogenados.

2.1 Processo do arco voltaico

O processo do arco voltaico baseia-se no princípio da fixação atmosférica do N_2 , por meio da ação de descargas elétricas (raios). A energia desprendida pela descarga elétrica promove a ruptura da ligação entre os dois átomos de N, o que possibilita a reação com o oxigênio atmosférico, formando os óxidos de nitrogênio (NO_x). Esses reagem com a água da atmosfera, formando ácido nítrico e nitroso, que precipitam sobre a terra. Em contato com o solo, ou com o calcário, formam os nitratos de cátions metálicos (cálcio, sódio, magnésio, entre outros).

2.2 Síntese da amônia (NH₃)

A amônia, NH₃, é composto-chave de produção de quase todos os adubos nitrogenados do comércio mundial. A amônia é produzida fazendo-se reagir hidrogênio e nitrogênio, segundo a reação:



Esta reação ocorre a ²pressões e ³temperaturas elevadas e com auxílio de canalizadores. A fonte de N é o ar atmosférico, enquanto que o hidrogênio (H) pode ser proveniente de diversas fontes.

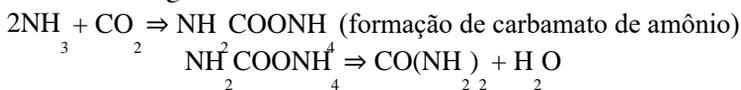
O carvão foi a primeira fonte de H, utilizada na Alemanha e nos EUA, sendo até a Segunda Guerra Mundial, responsável por aproximadamente 90% da produção mundial de amônia. Atualmente, o gás natural é a fonte de H mais atrativa, propiciando a rota de produção mais econômica.

O processo de eletrólise da água para a obtenção de H é usado há mais de 50 anos para a produção de amônia. A ideia de se utilizar água como fonte de hidrogênio para a produção de amônia é muito atrativa, especialmente, quando se levam em conta ideias de conservação de fontes não-renováveis de energia e as políticas de proteção ao meio ambiente.

Para a produção de H, a partir de derivados do petróleo, há tecnologias diferentes que estão associadas à matéria prima. Assim, quando se utiliza gás natural e naftas leves, a tecnologia utilizada é a da reforma de hidrocarbonetos com vapor d'água, e quando se processam óleos pesados de resíduo asfáltico, a tecnologia empregada é da oxidação parcial.

2.3 Obtenção de ureia

A ureia é preparada, fazendo-se reagir a NH₃ líquida com o CO₂ em câmaras fechadas a 180° C e a 100 atm de pressão. Forma-se uma solução com ureia, carbamato de amônio e amônia. Dessa solução separa-se, em evaporadores a vácuo, a ureia cristalina. As reações que ocorrem são as seguintes:



A ureia pode ser pulverizada em câmaras especiais que mediante aquecimento se solidifica na forma de grânulos brancos.

2.4 Obtenção do sulfato de amônio

Existem vários métodos para a produção de sulfato de amônio. Em alguns, o sulfato de amônio é subproduto da produção, por exemplo, de caprolactana e metacrilato de metila, mas ele pode ser produzido diretamente pelo processo combinado reação- evaporação. O processo de produção direta tem a vantagem de consumir menos energia do que aqueles em que o sulfato de amônio é obtido como subproduto.

A produção direta consiste basicamente na reação exotérmica entre amônia vaporizada e ácido sulfúrico, conforme a reação:

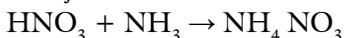


As matérias primas são alimentadas num evaporador-cristalizador operado a vácuo ou à pressão atmosférica. A mistura das matérias primas gera uma “lama” na qual se processa a cristalização do sulfato de amônio. Os cristais são separados da lama efluente por meio de centrifugação. Os cristais passam por um secador rotativo onde são classificados e armazenados.

2.5 Obtenção do Nitrato de amônio

Além do seu uso como fertilizante, grande parte do Nitrato de Amônio (NA) é usada na produção de dinamite, explosivos, combustível para foguetes e é misturada com 6% de óleo combustível como substituto de dinamite. No Brasil, sua venda é controlada pelo Exército e armazenagem deste produto requer liberação específica.

A reação entre amônia e ácido nítrico para produzir NA é uma simples reação ácido – base de neutralização:



A amônia vaporizada e superaquecida e o ácido nítrico são borrifados ou injetados abaixo do nível do neutralizador. O calor desenvolvido na reação é suficiente para concentrar a solução neutralizada até cerca de 83%. Segue-se concentração a 95- 96% e bombeamento para o topo da torre de perolação. Caíndo para o fundo da torre através de uma contracorrente de ar, as gotas da solução esfriam e se solidificam.

Os grânulos sólidos são coletados, peneirados para eliminar os demasiadamente grandes e levados para o secador, onde a umidade é reduzida a 0,5% ou menos. O NA seco e resfriado é revestido com cerca de 3% da argila ou outro agente anti-empedrate (PESEK et al., 1971). As principais especificações químicas do NA, entre outros fertilizantes nitrogenados, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos fertilizantes nitrogenados

Fertilizante	Teor mínimo	Característica	Observação
Amônia anidra	82% de N	N amoniacal	
Água amoniacal	10% de N	Solução de amoníaco em água. N amoniacal	
Solução nitrogenada	21% de N	Amônia, nitrato de amônio, uréia	
Nitrato de sódio	15% de N	N – nítrico	Perclorato de sódio < 15%
Ureia	45% de N	N – amídica	Biureto < 1,5 % solo < 0,3 % foliar
Ureia formaldeído	35% de N	N – amídica	60% N total insolúvel em água
Nitrato de amônio	32% de N	50% N amoniacal 50% N nítrico	
Nitrato de cálcio	14% de N	N – nítrica, e até 1,5% N amoniacal	18 a 19% de Ca 0,5 a 1,5% de Mg
Sulfato de amônio	20% de N	N – amoniacal, 22 a 24% de S	Tiocianato de amônio < 1%

2.6 Nitrogênio no solo

O N, apesar de abundante na atmosfera na forma de N₂ (onde representa 78% do volume), está presente em baixas concentrações na maioria dos solos. Esse nutriente mineral não é componente da rocha matriz, que é a grande fonte da maioria dos nutrientes minerais aos solos e a maior fração do N presente no solo está na forma orgânica (CANTARELLA, 2007).

Embora a concentração de N no solo seja baixa, o solo ainda é a principal fonte de N para as culturas, visto que aproximadamente 95% do N total se encontram na forma orgânica. Desta forma, a mineralização da matéria orgânica do solo pode disponibilizar de 80 a 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, considerando que 2 a 5% do N orgânico seja mineralizado ao ano, na camada de 0-20 cm, a partir de um conteúdo de N orgânico do solo de 2 g kg⁻¹ (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

De forma geral, pequena fração do N do solo que se encontra prontamente disponível nas plantas está nas formas de amônio e nitrato (RAIJ, 2011).

O N no solo está sujeito a grande número de reações, tais como mineralização/imobilização, nitrificação/amonificação e desnitrificação, que resultam em transformações de formas orgânicas em inorgânicas e vice-versa, culminando em ganhos ou perdas do sistema como um todo (RAIJ, 2011).

A ciclagem do N apresenta dinâmica complexa devido às múltiplas transformações e pela mobilidade desse nutriente no sistema solo-planta-atmosfera. Assim, os fertilizantes nitrogenados aplicados no solo passam por uma série de transformações químicas e microbianas, que podem resultar em perdas de N dos agrossistemas. O entendimento do balanço dessas transformações é específico para cada condição de solo, clima e cultura (CANTARELLA, 2007).

O N mineral é liberado ao solo pelos processos de transformações microbianas durante a mineralização dos compostos orgânicos nitrogenados, sendo encontrado no solo nas formas de amônio (NH₄⁺), nitrato (NO₃⁻) e nitrito (NO₂⁻), que são prontamente disponíveis para as culturas. Essas formas de N são muito dinâmicas, pois podem participar de diversas transformações no solo, como a imobilização de NH₄⁺ pela microbiota heterotrófica, e nitrificação, onde o NO₃⁻ gerado pode ser absorvido pelas plantas, ou perdido por desnitrificação ou lixiviação do perfil do solo.

A mineralização do N é a transformação do N orgânico para a forma inorgânica, em processo que é mediado por microrganismos heterotróficos do solo, os quais utilizam os compostos orgânicos como fonte de energia. A imobilização é um processo que ocorre concomitantemente com a mineralização, porém no sentido inverso.

A taxa de mineralização do N é variável, pois depende de diversos fatores como o clima, composição do resíduo vegetal adicionado e das características químicas e físicas do solo. O conteúdo de MOS pode ser correlacionado com a disponibilidade de N (SANTOS, 2008). A imobilização é definida como a transformação do N inorgânico em orgânico, e, mais uma vez, os microrganismos são responsáveis, incorporando o N disponível em suas células (CANTARELLA, 2007).

A nitrificação é uma sequência do processo de mineralização e é definida como a oxidação do N amoniacal a nitrato, enquanto a amonificação consiste na liberação de amônia do processo de decomposição microbiana, a qual resulta da quebra hidrolítica de proteínas e aminoácidos (BOER; KOWALCHUK, 2001).

A desnitrificação é uma forma de perda de N para a atmosfera, uma vez que os microrganismos utilizam óxidos de nitrogênio como aceptores finais de elétrons (FIRESTONE, 1982). A ureia aplicada no solo passa por hidrólise enzimática liberando o N amoniacal, em reação que consome prótons (H^+) e provoca a elevação do pH no solo. Dessa forma, o N da ureia pode ser perdido por volatilização. CANTARELLA et al. (2001), avaliando as perdas de N por volatilização em pastagens de capim-coastcross (*Cynodon dactylon* cv. Coastcross), encontraram perdas de ureia por volatilização na ordem de 61 %.

Outro importante ponto que deve ser levado em consideração é a influência que as entradas de carbono no solo têm nas taxas de transformações do N no solo (BURGER; JACKSON, 2003). Em alguns solos agrícolas, a imobilização do N pode ocorrer rapidamente, enquanto que em outros, a imobilização pode ocorrer depois de semanas ou até meses (SCHIMEL, 1986; SHI; NORTON, 2000).

Todas essas transformações do N no solo são mediadas pelos sistemas enzimáticos dos microrganismos, que requerem carbono e energia. A relação C/N dos resíduos que são depositados sobre o solo é um importante indicador que pode ser utilizado para inferir a respeito da qualidade do material orgânico que será decomposto. A relação C/N regula a direção das reações entre mineralização/imobilização do N (CANTARELLA, 2007). Assim, relação C/N em torno de 40 indica que a imobilização do N será o processo mais atuante, enquanto que relação C/N em torno de 20 resultará em processo de mineralização do N (RECOUS et al., 1990).

A combinação de estimativas que quantifiquem as frações de N no solo, considerando em paralelo fatores como as características edafoclimáticas da região e do solo, possibilita um melhor entendimento da relação entre os processos de imobilização/mineralização e permite estabelecer uma melhor previsão da disponibilidade de N durante o ano agrícola que, conseqüentemente, refletirá em uma recomendação mais segura de adubação nitrogenada para as culturas (SANTOS, 2008).

2.7 Nitrogênio na planta

O N geralmente representa de 2 a 4% da massa seca dos tecidos vegetais (MENDEL et al., 2001), sendo componente integral de muitos compostos essenciais ao processo de crescimento vegetal. Está presente nos aminoácidos e proteínas, participa com quatro átomos na molécula de clorofila e é componente de ácidos nucleicos que são indispensáveis nos núcleos celulares e protoplasma, onde se situam os controles hereditários. É essencial para utilização de carboidratos na planta, além de estimular o crescimento e o desenvolvimento de folhas, caules e raízes, promovendo maior absorção de outros NUTRIENTES (HOPKINS, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012).

O nitrato e o amônio são as principais fontes inorgânicas de N absorvidas pelas plantas superiores, e a maior absorção de uma forma em relação à outra é acompanhada por variações de pH do meio. O meio ácido inibe a absorção do amônio e favorece a de nitrato, enquanto que em pH neutro ou alcalino, há favorecimento da absorção de amônio, possivelmente devido a efeitos competitivos do H^+ e OH^- bombeados para fora da célula pelo mecanismo associado à atividade de ATPases de membranas, no processo de absorção ativa de cátions e ânions (MARSCHNER, 2012). Assim, a absorção de nitrato estimula a absorção de cátions, enquanto que a absorção de amônio pode restringi-la.

O N é facilmente redistribuído na planta via floema e, conseqüentemente, as plantas deficientes em N apresentam os sintomas primeiramente nas folhas mais velhas. A proteólise e a redistribuição dos aminoácidos resultam no colapso dos cloroplastos e assim ocorre decréscimo no conteúdo de clorofila nas folhas mais velhas. A longevidade das folhas é modificada pela falta de N, já que esse elemento,

sendo móvel, desloca-se para partes novas da planta, provocando senescência precoce das partes mais velhas (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012).

Cerca de 90% do N total da planta encontra-se na forma orgânica e é assim que desempenha as funções em compostos de baixo peso molecular e em macromoléculas. Os aminoácidos livres dão origem a outros aminoácidos e proteínas e, por consequência, às enzimas e coenzimas, são precursores de hormônios vegetais, compõem núcleos porfirínicos como clorofila e citocromos e atuam como reserva de N como asparagina e arginina nas sementes (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012).

Nos compostos orgânicos o N ocorre na forma reduzida. Como é absorvido, preferencialmente, como nitrato (oxidado), deve haver a redução do nitrato antes da incorporação em compostos orgânicos. Duas enzimas são envolvidas nesse processo: a redutase do nitrato, que necessita do ferro e do molibdênio e a redutase do nitrito, que necessita apenas do ferro, para sua ativação. A redutase do nitrato catalisa a primeira etapa de redução do nitrato a nitrito ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$), a qual ocorre no citoplasma. A segunda etapa de redução de nitrito a amônio ($\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+$), que ocorre nos cloroplastos, é catalisada pela redutase do nitrito. Uma vez reduzido, o N é incorporado em aminoácidos (TAIZ; ZEIGER, 2009; MARSCHNER, 2012).

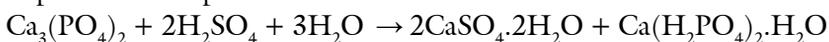
3. Fertilizantes fosfatados

Os fertilizantes fosfatados são majoritariamente produzidos a partir de reservas naturais de rochas fosfatadas e uma pequena fração, menor que 1%, sintetizados por meio de escórias industriais e resíduos orgânicos. Essas rochas fosfatadas são basicamente constituídas pela apatita ($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), mineral de fosfato de cálcio que pode apresentar variações em sua constituição química, contendo OH (hidróxido-apatita - $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$), F (flúor-apatita - $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$) ou Cl (cloro-apatita - $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCl}_2$), de origem ígnea ou metamórfica. Além desses, são encontradas rochas fosfatadas a base de carbonato-apatita, comumente denominadas como fosforitas de origem sedimentar, em que o PO_4^{3-} é parcialmente substituído por CO_3^{2-} na estrutura; essa mudança implica em uma maior reatividade/solubilidade

do fósforo (P), como encontrado no fosfato natural reativo de Bayóvar, do que o P de rochas de origem ígnea, como o fosfato natural de Araxá.

Na indústria, essas rochas são finamente moídas, purificadas, a fim de retirar impurezas e concentrar o P, e submetidas a ataque ácido. Esse processo modifica as características químicas e mineralógicas da rocha e favorece uma maior solubilidade do P, produzindo os fertilizantes totalmente acidulados, tais como o superfosfato simples, o superfosfato triplo e os fosfatos amoniados, entre esses o fosfato monoamônio (MAP) e o diamônio (DAP). O superfosfato simples é produzido quando a rocha pré-processada é submetida ao ataque com ácido sulfúrico (H_2SO_4), enquanto o superfosfato triplo, a reação ocorre com ácido fosfórico (H_3PO_4). No caso do MAP e do DAP, é utilizado o H_3PO_4 , produzido da própria rocha fosfatada, que reage com a amônia (NH_3), em uma relação estequiométrica específica. As reações simplificadas entre as matérias-primas (reagentes) para a formação dos fertilizantes fosfatos (produtos) são demonstradas a seguir:

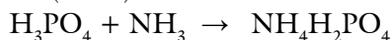
Superfosfato simples:



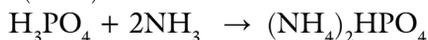
Superfosfato triplo:



Fosfato monoamônio (MAP):



Fosfato diamônio (DAP):



Os fertilizantes fosfatados totalmente acidulados, acima descritos, são os mais utilizados mundialmente. Eles apresentam elevada solubilidade do P em água e em citrato neutro de amônio mais água, o que demonstra a pronta disponibilidade do P às plantas. Para padronização da informação, os teores de P presentes nos fertilizantes são apresentados na forma de óxido, P_2O_5 (Tabela 2).

Os fertilizantes fosfatados totalmente acidulados não são os únicos, há outros fosfatados com diferentes características químicas e

teores solúveis de P (Tabela 2), e muitos desses fertilizantes apresentam diferentes cátions acompanhantes do fosfato e rotas de produção. Além disso, em alguns sistemas de produção agrícola, faz-se o uso de fontes de P pouco reativas, como os fosfatos naturais e os naturais reativos, especialmente, em culturas de ciclo perene, como o eucalipto e culturas forrageiras para uso em pastagens, que são baseados em seus teores de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico.

Tabela 2. Especificações dos principais fertilizantes fosfatados simples

Fertilizante	Teor mínimo	Solubilidade do P_2O_5	Observações
Superfosfato simples	18% de P_2O_5 16% de Ca 10% de S	P_2O_5 solúvel em CNA+ H_2O ¹	Mínimo de 16% de P_2O_5 solúvel em água. Ca e S teores totais.
Superfosfato triplo	41% de P_2O_5 10% de Ca	P_2O_5 solúvel em CNA+ H_2O ¹	Mínimo de 36% de P_2O_5 solúvel em água. Ca teor total.
Fosfato monoamônio (MAP)	48% de P_2O_5 9% de N	P_2O_5 solúvel em CNA+ H_2O ¹	Mínimo de 44% de P_2O_5 solúvel em água. N-amoniacal teor total.
Fosfato diamônio (DAP)	45% de P_2O_5 17% de N	P_2O_5 solúvel em CNA+ H_2O ¹	Mínimo de 38% de P_2O_5 solúvel em água. N-amoniacal teor total.
Nitrofosfato	18% de P_2O_5 14% de N 6% de Ca	P_2O_5 solúvel em CNA+ H_2O ¹	Mínimo de 14% de P_2O_5 solúvel em água. N-nítrico e Ca teores totais.
Fosfato monopotássico	51% de P_2O_5 33% de K_2O	P_2O_5 solúvel em água	K_2O teor solúvel em água
Fosfato parcialmente acidulado	9% de P_2O_5 16% de Ca	P_2O_5 solúvel em CNA+ H_2O ¹	Mínimo de 5% de P_2O_5 solúvel em água. Ca teor total.
Termofosfato magnesiano	11% de P_2O_5 16% de Ca 8% de Si 4% de Mg	P_2O_5 solúvel em ácido cítrico	Ca, Si e Mg teores totais.
Fosfato natural reativo	8% de P_2O_5 28% de Ca	P_2O_5 solúvel em ácido cítrico	Ca teores totais.
Fosfato natural	4% de P_2O_5	P_2O_5 solúvel em ácido cítrico	

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2017. ¹Citrato neutro de amônio mais água.

Além dos fertilizantes fosfatados e suas rotas de produção, vale ressaltar a dependência externa do Brasil em relação aos fosfatados. Em 2016, o Brasil importou cerca de 50% do P consumido na agricultura; no período de janeiro-agosto de 2017, a importação de fosfatados aumentou 26% em relação ao mesmo período de 2016 (ANDA, 2017), e a previsão é que essa dependência aumente para os próximos anos, uma vez que a demanda é crescente. Com isso, estima-se que as reservas fosfatadas mundiais de melhor qualidade e de fácil extração sejam esgotadas nos próximos 50 a 100 anos (CORDEL; WHITE, 2015), o que representa um grande desafio para o agronegócio, cuja pesquisa tem se esforçado para aumentar a eficiência de uso dessas reservas, a partir de manejos e ou tecnologias que proporcionem maior aproveitamento do P aplicado, via fertilizante, pelas plantas, minimizando as perdas de disponibilidade desse nutriente que ocorrem no solo.

3.1 Fósforo no solo

A dinâmica do P no solo e as reações que influenciam a disponibilidade desse nutriente às plantas estão voltadas a processos, como a adsorção/dessorção, a precipitação/dissolução e a imobilização/mineralização. Esses processos irão determinar o fator capacidade de P ou poder tampão de fosfato do solo, em que é definido pela relação de equilíbrio entre o P no solo e o P na fase líquida (solução do solo), o que representa a capacidade do solo em manter determinado nível de P em solução, passível de ser absorvido pelas plantas.

O processo de adsorção de P no solo poderá resultar em perda de disponibilidade de P. Esse processo é compreendido por fases, no início ocorre atração eletrostática entre o P e a superfície do mineral do solo, sendo uma fase rápida e reversível do processo, mas com o envelhecimento dessa ligação, ocorre a troca de ligantes do fosfato com o constituinte mineral do solo (SPOSITO, 2008), o que se configura em uma ligação específica, de esfera interna e não reversível no curto-médio prazo. Essa última fase descrita é compreendida genericamente como P fixado ou fixação de P no solo, o que impede a absorção do nutriente pelas plantas. Em solos com elevado grau de intemperismo, essa condição desfavorável à planta é maior, devido às características do solo, como aquelas encontradas nos Latossolos.

No Brasil, os Latossolos ocupam área maior que 100 milhões de hectares, o que corresponde, aproximadamente, 32% dos solos do País, sendo a Ordem de solo predominante (ANJOS et al, 2012). A sequência do intemperismo que gerou esses solos teve como reagentes químicos essenciais a H_2O e o H^+ e como produtos a sílica e os cátions, provindos do material de origem, que foram lixiviados (GARRELS; CHRIST, 1965). Como resultado desse intemperismo, a fração argila dos Latossolos é dominada pela caulinita e pelos oxi-hidróxidos de Fe e de Al, que conferem aos mesmos, carga elétrica de superfície variável (MELAMED, 2009), cuja densidade é regulada pelo pH do meio, podendo ocorrer a presença de O^- , OH^- e, ou OH_2^+ nas bordas das argilas, que influencia a dinâmica de fixação de P no solo.

Com isso, os Latossolos apresentam características especiais, tais como, pH ácido, baixa capacidade de troca de cátions, baixa saturação por bases e predominância de minerais com elevada capacidade em fixar P. O solo com essas características necessita de correção da acidez e da fertilidade do solo para que sejam cultivados, com aplicação de calcário e de fertilizantes, particularmente, os fosfatados, para torná-los favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das culturas. Esses solos podem adsorver mais de 4000 kg ha^{-1} de P ou 9200 kg ha^{-1} de P_2O_5 incorporado na camada de 0 a 20 cm, e fixar 200 vezes mais P, produzindo formas não lábeis do nutriente, do que plantas de cultivo anual, como a soja, que imobilizam em toda sua biomassa, aproximadamente, 20 kg ha^{-1} (NOVAIS et al., 2007).

A ordem preferencial de adsorção de ânions pelo solo é fosfato > arseniato > selenito = molibdato > sulfato = fluoreto > cloreto > nitrato (PARFITT, 1978), o que demonstra a alta afinidade dos constituintes minerais, especialmente de solos bem intemperizados, pelo fosfato. O manejo do solo pode modificar o processo de adsorção de P, reduzindo a velocidade e magnitude dessa reação no solo, como o aumento do pH, da matéria orgânica do solo e a própria adubação fosfatada, uma vez que a aplicação de P, ao longo dos cultivos, promove a saturação dos sítios de adsorção de fosfato. A adsorção/fixação, também, é influenciada pelo tempo de contato entre o ânion fosfato e a superfície do mineral (NOVAIS et al., 2007), ou seja, quando o fertilizante fosfatado é aplicado ao solo, a disponibilidade do P-fertilizante será máximo no início, seguida de decréscimo com o tempo após aplicação.

A precipitação, formação de um sólido em solução a partir da interação entre íons, é outra reação que causa perda de disponibilidade de P no solo. As mais frequentes são quando o fosfato na solução do solo interage com formas iônicas de alumínio (Al), ferro (Fe) ou cálcio (Ca), o que forma compostos pouco solúveis. A solubilidade desses precipitados ou compostos fosfatados é variável, a depender, especialmente, do pH e da atividade iônica, uma vez que P ligado à Al ou Fe são mais estáveis em meio ácido, e o P com Ca (fosfato de cálcio, fluoro-apatita e hidróxido-apatita) estáveis em condições alcalinas. A precipitação de P em solos torna-se particularmente importante durante a dissolução de grânulos de fertilizantes fosfatados, o que eleva a atividade dos íons, propiciando as reações de precipitação (NOVAIS et al., 2007; MCLAUGHLIN et al., 2011).

Os microrganismos heterotróficos, também, têm participação ativa nas transformações do P no solo, por meio da imobilização/mineralização, cuja atividade é regulada pelo teor de argila do solo, pH, potencial de oxidação-redução, umidade, temperatura e teor de nutrientes, o que gera um ciclo dinâmico do elemento. A imobilização microbiana de P no solo reduz a disponibilidade às plantas, mas esse processo pode ser revertido, via mineralização. A magnitude e predominância da imobilização sobre a mineralização, ou vice-versa são, especialmente, reguladas pela relação C/P, em que valores maior ou igual a 300 tende a imobilização e menor que 200 favorece a mineralização do P.

Assim, tanto a biomassa microbiana quanto resíduos orgânicos aportados ao solo podem funcionar como reserva de P, por meio do P orgânico (Souza *et al.*, 2008). O P orgânico do solo é representado, predominantemente, por ortofosfatos de monoésteres (hexafosfato de inositol e fosfato colina) e, em menor proporção no solo, por ortofosfatos de diésteres (ácido teicóico, ácidos nucleicos e fosfolipídeos) e fosfonatos ($R-PO_4$), sendo assim, uma fonte potencial de P às plantas (NOVAIS et al., 2007). Para que o P orgânico seja disponível às plantas, essa forma de P terá que ser transformada em fosfato inorgânico (mineralização). Esse processo depende da ciclagem biogeoquímica e, portanto, da atividade das enzimas fosfatases, sintetizadas e liberadas ao solo por microrganismos e, ou raízes de algumas espécies de plantas, que catalisam a hidrólise do P ligado à cadeia de carbônica e liberam P inorgânico no solo (GATIBONI et al., 2008; PNG et al., 2017).

A avaliação do P disponível tem a função de informar o teor de P no solo acessível às plantas. Essa avaliação tem sido realizada com o uso de extratores, com diferentes características, dentre esses os mais utilizados no Brasil são o Mehlich-1 e a resina de troca iônica. Em regiões do País que adotam o Mehlich-1, a determinação do fator capacidade ou poder tampão de P auxilia na interpretação da disponibilidade de P, estimado por meio do fósforo remanescente (P-rem) (BONFIM et al., 2004), o que também contribui no cálculo de adubação fosfatada para diversas culturas.

3.2 Fósforo na planta

O P é um elemento insubstituível que participa de pelo menos um composto ou reação indispensável nos organismos vivos, o que caracteriza sua essencialidade (nutriente) a todas as formas de vida. Nas plantas, o P enquadra-se como macronutriente e, de forma geral, é acumulado de 0,1 a 0,5% na massa seca vegetal, portanto, menor do que os demais macronutrientes, como N, K, Ca e Mg, igualando-se ao S.

No solo, o P é transportado na solução do solo até o contato com as raízes quase exclusivamente por difusão. Assim, o fosfato se movimenta apenas por curtas distâncias e a favor de um gradiente de concentração, o que confere a esse nutriente limitada mobilidade no solo. Quando em contato com as raízes, o P é passível de ser absorvido pela planta na forma de ortofosfato, majoritariamente, pela espécie iônica H_2PO_4^- ; mas o ânion HPO_4^{2-} , também, pode ser absorvido. A predominância na absorção de H_2PO_4^- pelas plantas está relacionada com o pH comum de solos agrícolas, que varia de 4 a 7, em que nessas condições de solo, o H_2PO_4^- impera sobre às demais espécies de P.

As plantas absorvem P contra um elevado gradiente de concentração, com gasto de energia, em que as concentrações de fosfato nas células radiculares são geralmente mais de 100 vezes superiores do que às concentrações na solução do solo (ARAÚJO; MACHADO, 2006). O P absorvido pela raiz é transportado para tecidos da parte aérea da planta via xilema, geralmente, da mesma forma em que foi absorvido e, é rapidamente incorporado a compostos orgânicos na planta. Ao contrário do N-NO_3^- que após sua absorção necessita ser reduzido para ser assimilado, o fosfato permanece em seu estado oxidado (TAIZ; ZEIGER, 2009). Dessa forma, o fosfato na planta

pode estar na forma de P inorgânico ou esterificado por meio de grupos hidroxil, ligando-o a cadeia carbônica (C-O-P), como açúcar fosfato, exemplo, a frutose-6-fosfato, ou ainda pode se ligar a outro fosfato, com ligação rica em energia, o que pode compor a adenosina trifosfato (ATP) (HAWKESFORD et al., 2012; TAIZ; ZEIGER, 2009).

O balanço na planta entre P inorgânico e orgânico é regulado pelo estado nutricional de P da planta. Em condições adequadas de suprimento de P, a proporção de P inorgânico aumenta, especialmente, na forma de ortofosfato e, em menor proporção, de pirofosfato, em que são armazenadas no vacúolo celular. A proporção de P orgânico, incorporado a compostos orgânicos, aumenta, especialmente, em condições de deficiência na planta ou no órgão vegetal.

O estoque de P inorgânico da planta representa um compartimento de reserva que pode atender à demanda de P de tecidos vegetais mais jovens. Ao contrário da mobilidade de P no solo, na planta, esse nutriente é muito móvel, assim o P, em maior proporção o inorgânico armazenado nos vacúolos, pode ser redistribuído para outro órgão qualquer da planta, via floema (WHITE et al., 2012).

O P desempenha inúmeras funções essenciais na planta, como um elemento estrutural em ácidos nucléicos, componentes do DNA e RNA, constituinte dos fosfolipídios das membranas, bem como exerce papel na transferência de energia por meio da ATP (HAWKESFORD et al., 2012). Mas, a ligação energética do pirofosfato, também, pode ser transferida para a síntese de outras moléculas, diferenciada do ATP, apenas pela base nitrogenada, como a uridina trifosfato (UTP) e a guanosina trifosfato (GTP), que são requeridas para a síntese de sacarose e de celulose, respectivamente (HAWKESFORD et al., 2012). Além disso, o P é importante na fotossíntese, na respiração, divisão e crescimento celular, em que regula a velocidade de formação e crescimento das raízes, melhora a qualidade dos frutos, hortaliças e grãos, sendo vital à formação da semente (DECHEN; NACHTIGALL, 2007) e de seus compostos de reserva, tais como o fitato.

Como se move rapidamente dos tecidos mais velhos para os mais jovens, os sintomas de deficiência de P ocorrem, particularmente, nas folhas velhas. O primeiro sintoma visual da deficiência de P manifesta-se pela redução do crescimento da planta, seguido, em muitas espécies vegetais como o milho, braquiária, tomate, por folhas velhas com coloração púrpura ou avermelhada, associada ao acúmulo

de antocianina (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Mesmo em solos com níveis adequados desse nutriente é possível ocorrer deficiência de P na planta, especialmente, nos períodos secos e, ou com baixas temperaturas, ou mesmo quando camadas superficiais do solo se encontram compactadas.

De maneira geral, são raros os sintomas de excesso ou intoxicação por P; contudo, algumas plantas sensíveis podem manifestar sintomas em condições cuja concentração nas folhas seja superior a 0,3% (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Ainda, solos com alta disponibilidade de P podem induzir deficiência de Zn nas plantas (MALAVOLTA, 2004).

4. Fertilizantes Potássicos

A indústria de fertilizantes potássicos baseia-se no aproveitamento de jazidas de minerais potássicos, normalmente, do tipo evaporito, isto é, depósitos sedimentares formados pela evaporação de água do mar ou de lagos salgados. A ordem de deposição dos sais, a partir da evaporação de uma solução com composição similar à água do mar, é carbonato de cálcio; carbonato de magnésio; sulfato de cálcio; cloreto de sódio; sulfato de magnésio; cloreto de magnésio; e cloreto de potássio. Os cloretos de magnésio e potássio precipitam-se quando sua concentração atinge cerca de 100 vezes a concentração normal na água do mar.

A maioria dos minerais apresenta, significativamente, potássio (K) na sua rede cristalina, porém apenas os minerais constituídos por cloretos ou sulfatos são considerados de interesse econômico, devido ao seu conteúdo de K e à sua fácil solubilização. São exemplos desses minerais a silvita (KCl), silvinita (KCl + NaCl) e carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), além dos sulfatos que são menos explorados como a langbeinita ($\text{KMg}_2(\text{SO}_4)_3$), polihalita ($\text{K}_2\text{MgCa}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e kainita ($4\text{KCl}_4\text{MgSO}_4 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$) (NASCIMENTO et al., 2008).

No mundo, apenas 12 países contêm jazidas com minerais potássicos de interesse econômico, sendo que 52 % das reservas mundiais ocorrem no Canadá e apenas 3,6 % ocorrem no Brasil e, portanto, ocupa a 5ª posição das reservas mundiais de K (IBRAM, 2010). A descoberta do depósito de sais de K mais importante do mundo foi durante a 2ª Guerra Mundial, em Saskatchewan, no Canadá, sendo que várias

minas entraram em operação em 1960 (NASCIMENTO et al., 2008).

A demanda mundial por K é suprida, principalmente, pelo Canadá, juntamente, com a Rússia, a Bielorrússia e a Alemanha, já que esses quatro países detêm 74 % da produção mundial de K (KULAIFF, 2009). Em 2010, 25 milhões de toneladas de K foram produzidas. O líder foi o Canadá com uma produção 7 milhões de toneladas, já o Brasil produziu apenas 650 mil toneladas sendo o décimo maior produtor (IBRAM, 2010).

No hemisfério sul, os depósitos de K são bastante escassos. No Brasil, as reservas existentes são de carnalita e silvinita que é uma mistura de silvita (KCl) e halita (NaCl). Os principais depósitos explorados encontram-se nas sub-bacias evaporíticas de Taquari-Vassouras e Santa Rosa de Lima, no estado de Sergipe e totalizam cerca de 490 milhões de toneladas de silvinita e 12,9 bilhões de toneladas de carnalita, com teores médios de 9,7 e 8,3 % de K_2O , respectivamente (OLIVEIRA, 2010).

A exploração das reservas de Sergipe teve início em 1979 devido à implantação da mina de Taquari-Vassouras pela Petrobras Mineração S/A –PETROMISA e em 1985 iniciou-se a produção brasileira de K. A partir de 1993, a produção cresceu e em 2008 essa mina chegou a produziu 607 mil toneladas de cloreto de potássio (KCl) (KULAIFF, 2009). Em 1955 foram descobertos os depósitos de K (silvinita) da Amazônia, na região de Nova Olinda do Norte a 135 Km de Manaus e depois em Itacoatiara, a 176 Km de Manaus (NASCIMENTO et al., 2008).

A produção de K no Brasil, iniciada em 1985, se concentra em uma só mina que é o Complexo Mina/Usina Taquari/Vassouras, no Estado de Sergipe, as demais jazidas, no Estado de Sergipe e no Estado do Amazonas, ainda não entraram em produção. Desta forma, o Brasil produz apenas 9 % do fertilizante potássico consumido no país (IBRAM, 2010).

Cerca de 95% de todo K minerado é utilizado como fertilizante, as principais fontes potássicas minerais utilizadas na agricultura são o cloreto de potássio (KCl), o sulfato de potássio (K_2SO_4), o sulfato duplo de potássio e magnésio ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$) e o nitrato de potássio (KNO_3).

Dos fertilizantes potássicos produzidos no mundo, 90% são na forma de cloreto de potássio (KCl) que é o fertilizante mais utilizado

na agricultura (IBRAM, 2010), por causa da alta concentração de K_2O (Tabela 3), e devido ao menor custo por unidade de K. O sulfato de potássio é composto de 50 a 52% de K_2O e cerca de 18% de enxofre, os quais são solúveis em água. O sulfato duplo de potássio e magnésio é composto de 22% de K_2O , 11% de magnésio, cerca de 22 a 23% enxofre, solúveis em água. O nitrato de potássio apresenta 44% de K_2O e 13% de N e é ideal para ser usado em sistemas de fertirrigação. As fontes de K, como o nitrato e o sulfato, além de K, contêm outros nutrientes como o enxofre, magnésio ou o nitrogênio e apresentam menores índices salinos, assim, o efeito deletério é menor nas culturas, porém, mesmo assim, são pouco usados por serem mais caros que o cloreto de potássio (YAMADA; ROBERTS, 2005).

Tabela 3. Especificações dos fertilizantes potássicos

Produto	Teor mínimo	Características	Fontes e obtenção	Observações
Cloreto de Potássio	58 % de K_2O	K na forma de cloreto determinado como K O solúvel em água. ²	A partir de sais brutos de K por dissoluções seletivas, flotação ou outros métodos de separação.	45 a 48 % de Cl
Sulfato de Potássio	48 % de K_2O	K na forma de sulfato determinado como K O solúvel em água. ²	A partir de vários minerais potássicos.	15 a 17% de S 0 a 1,2% de Mg
Sulfato de potássio e magnésio	18 % de K_2O 4,5% de Mg	K e Mg determinados como K O e Mg após extração aquosa por meio apropriado.	A partir de sais de K com a adição de sais de magnésio, em solução com ácido sulfúrico.	22 a 24% de S 1 a 1,5% de Cl
Nitrato de potássio	46% de K_2O e 14% de N	Há pelo menos duas vias para obtenção do KNO_3 $HNO_3 + KCl \rightarrow HCl + KNO_3$ $2HCl + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow Cl_2 + H_2O$	O nitrato existe em pequenas minas na Índia, Egito, China, na proporção de 2-3%.	

4.1 Potássio no solo

A capacidade dos solos em suprir K para as plantas variam em função das formas em que este nutriente se encontra, da quantidade e do grau de disponibilidade de cada forma (MIELNICZUK, 1982). A maioria dos solos contém concentrações significativas de K, mas somente uma pequena quantidade (2%) está na forma de K trocável (NASCIMENTO et al., 2008).

O K trocável refere-se ao elemento prontamente disponível para as plantas, pois está fracamente ligado às cargas negativas nas superfícies orgânicas e inorgânicas do solo (YAMADA; ROBERTS, 2005).

A outra forma como o K pode ser encontrado no solo é como K não trocável que é aquele retido na estrutura de minerais primários e/ou secundários denominado K estrutural, tais como os feldspatos potássicos e as micas, bem como o K fixado que é aquele que se encontra neutralizando as cargas negativas no interior das entrecamadas dos argilominerais expansivos como a vermiculita e a esmectita (minerais do tipo 2:1). O K, também, pode estar na solução do solo, ou seja, dissolvido na água do solo e disponível para as plantas. A somatória dessas formas é representada pelo K total do solo.

Estas formas estão em equilíbrio entre si, através da solução do solo, afetando, assim, a disponibilidade de K para as plantas. Quando este nutriente é retirado da solução do solo, conseqüentemente, uma fração dele que estava ligada à fase sólida do solo é liberada para manter o equilíbrio. Todas as formas de K podem ser liberadas para a solução do solo, porém, a liberação do K trocável é rápida, enquanto que a do K não trocável é lenta (YAMADA; ROBERTS, 2005).

O K, quando presente na solução do solo, movimenta-se verticalmente, principalmente, por fluxo de massa (SANZONOWICZ; MIELNICZUK, 1985). Porém, quando o K percola para abaixo da camada do solo ocupada pelas raízes ocorrem perdas desse nutriente por lixiviação. A quantidade dessa perda depende da fonte de K utilizada, do volume de água percolada e da concentração do K na solução do solo.

A aplicação de sais de K de alta solubilidade, como o cloreto de K, facilita a lixiviação desse nutriente, especialmente, em solos arenosos e de baixa capacidade de troca de cátions (KINPARA, 2003).

O K é um nutriente requerido em quantidades relativamente elevadas quando comparado aos demais e sua absorção varia com as condições ambientais e manejo durante a safra. Estima-se que as plantas, de maneira geral, devem ter cerca de 2 a 5% de K, compondo sua massa seca para ótimo crescimento e desenvolvimento (MARSCHNER, 2012). Apesar de não ser metabolizado a compostos orgânicos pelas plantas, o nutriente desempenha funções de suma importância para processos fisiológicos e bioquímicos no ambiente celular, como: ativação de mais de 60 sítios enzimáticos (MENGEL et al., 2001), assimilação e translocação de compostos e água (DEEKEN et al., 2002), regulação de estômatos, turgidez celular e potencial osmótico (TAIZ; ZEIGER, 2009), fotossíntese (EBELHAR; VARSA, 2000), respiração (CUNNINGHAM; SYVERTSEN, 1977), crescimento meristemático (HEPLER et al., 2001), redução de estresses abióticos como salinidade, deficiência hídrica e baixas temperaturas (Chaves *et al.*, 2009) e bióticos como pragas e doenças (PRABHU et al., 2007).

A absorção do nutriente ocorre na interface raiz-solução na forma de K^+ . Sua entrada na célula é facilitada pela alta permeabilidade que a membrana celular apresenta ao nutriente e pelo potencial negativo no citoplasma, que cria um gradiente eletroquímico favorável à entrada de K^+ (MENGEL et al., 2001). O íon apresenta alta mobilidade nos tecidos, podendo ser transportado a longas distâncias. Além do processo de absorção passiva, mediado pela atividade de ATPases, processos ativos de absorção do íon também foram relatados, principalmente quando o nutriente se encontra em baixas concentrações na solução do solo (CHEESEMAN; HANSON, 1979).

O transporte de K pelo floema é predominantemente direcionado de tecidos velhos para novos (MENGEL et al., 2001). O suprimento adequado de K é crucial para a translocação de assimilados no floema, além de ajudar a superar limitações energéticas locais ao longo do processo de carregamento e translocação do floema (GAJDANOWICZ et al., 2011). Além disso, a presença de K é um pré-requisito para estabelecer e manter um elevado potencial osmótico nos tubos de seiva, aumentando as taxas de transporte, bem como equilibrar o balanço cátions-ânions, que previne o acúmulo de ácidos orgânicos e contribui com o metabolismo do NO_3^- (MARSCHNER, 2012).

Espécies vegetais apresentam ampla variação em requerimento e habilidade de absorção de K. Estas diferenças são atribuídas, principalmente, a características como estrutura, densidade e comprimento de raízes.

5. Referências bibliográficas:

ANJOS, L.H.C dos; JACOMINE, P.K.T.; SANTOS, H.G. *et al.* Sistema brasileiro de classificação de solos. *In*: KER J.C. CURI, N; SCHAEFER, C.E.G.R. *et al.* (Eds). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. 303-343pp.

ARAÚJO, A.P.; MACHADO, C.T.T. Fósforo. *In*: FERNANDES, M.S. (Ed). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 253-280pp.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CALCÁRIO AGRÍCOLA – ABRACAL. **Consumo aparente de calcário agrícola, 1992/2016**. 2017. Disponível em: < [http://www.abracal.com.br/arquivos/documentos/Calc%C3%A1rio%20Agr%C3%ADcola%20Brasil%20Consumo%20Aparente%201992%20a%202016%20e%20Produ%C3%A7%C3%A3o%20por%20Estado%201987%20a%202016\(1\).pdf](http://www.abracal.com.br/arquivos/documentos/Calc%C3%A1rio%20Agr%C3%ADcola%20Brasil%20Consumo%20Aparente%201992%20a%202016%20e%20Produ%C3%A7%C3%A3o%20por%20Estado%201987%20a%202016(1).pdf) >. Acessado em: ago. 2017.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS – ANDA. **Mercado de fertilizantes, janeiro-agosto / 2017**. 2017. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/estatistica/comentarios.pdf>>. Acessado em: set. 2017.

BOER, W.; KOWALCHUK, G.A. Nitrification in acid soils: microorganisms and mechanisms: A Review. **Soil Biology and Biochemistry**, 33: 853-866, 2001.

BONFIM, E.M.S.; FREIRE, F.J.; SANTOS, M.V.F. *et al.* Níveis críticos de fósforo para *Brachiaria brizantha* e suas relações com características físicas e químicas em solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28: 281-288, 2004.

BURGER, M.; JACKSON, L.E. Microbial immobilization of ammonium and nitrate in relation to ammonification and nitrification

rates in organic and conventional cropping systems. **Soil Biology and Biochemistry**, 35: 29-36, 2003.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. *In*: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. *et al.* (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 375-470pp.

CANTARELLA, H.; CORRÊA, L.A.; PRIMAVESI, A.C. *et al.* Ammonia losses by volatilization from coastcross pasture fertilized with two nitrogen sources. *In*: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001. Águas de São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: Brazilian Society of Animal Husbandry, 2001. 190-192pp.

CHAVES, M.M.; FLEZAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, 103: 551-560, 2009.

CHEESEMAN, J.M.; HANSON, J.B. Energy-linked potassium influx as related to cell potential in corn roots. **Plant Physiology**, 64: 842-845, 1979.

CORDELL, D.; WHITE, S. Tracking phosphorus security: indicators of phosphorus vulnerability in the global food system. **Food Security**, 7: 337-350, 2015.

CUNNINGHAM, G.L.; SYVERTSEN, J.P. The effect of nonstructural carbohydrate levels on dark CO₂ release in creosote bush. **Photosynthetica**, 11: 291-295, 1977.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas *In*: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. *et al.* (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 471-537pp.

DEEKEN, R.; GEIGER, D.; FROMM, J. *et al.* Loss of the AKT2/3 potassium channel affects sugar loading into the phloem of *Arabidopsis*. **Planta**, 216: 2002.

EBELHAR, S.A.; VARSA, E.C. Tillage and potassium placement effects on potassium utilization by corn and soybean. **Communication in Soil Science and Plant Analyses**, 31: 2000.

FIRESTONE, M.K. Biological denitrification. *In*: STEVENSON, F.J. (Ed). **Nitrogen in Agricultural Soils**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. 289-326pp.

GAJDANOWICZ, P.; MICHARD, E.; SANDMAN, M. *et al.* Potassium gradients serve as a mobile energy source in plant vascular tissues. **Proceedings of the National Academy of Sciences of India**, 108: 864-869, 2011.

GARRELS, R.M.; CHRIST, C.L. **Solutions, Minerals, and Equilibria**. Harper & Row Publishers, New York, 1965. 450p.

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S. *et al.* Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 43: 1085-1091, 2008.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T. *et al.* Functions of macronutrients. *In*: MARSCHNER, P. (Ed). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**, 3rd edition; London: Academic Press, 2012. 135-188pp.

HEPLER, P.K.; VIDALI, L.; CHEUNG, A.Y. Polarized cell growth in higher plants. **Annual Review of Cell Biology**, 17: 159-187, 2001.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE – IPNI. **Evolução do consumo total de NPK no Brasil**. 2017. Disponível em: <<http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132#evolucao>>. Acessado em: ago. 2017.

INTITUTOBRASILEIRODEMINERAÇÃO-IBRAM. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**, 5. Ed., 2010. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00001150.pdf>>. Acessado em: jul. 2017.

KINPORA, D. I. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2003. 27p.

KULAIFF, Y. **Perfil do potássio. Produto 29 Agrominerais**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM. Relatório Técnico 52, 2009. 40p.

MALAVOLTA, E. O fósforo na planta e interações com outros elementos. *In*: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. 35-80pp.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**, 3rd edition; London: Academic Press, 2012. 651 p.

McLAUGHLIN, M.J.; McBEATH, T.M.; SMERNIK, R. *et al.* The chemical nature of P accumulation in agricultural soils—implications for fertiliser management and design: an Australian perspective. **Plant and Soil**, 349: 69-87, 2011.

MELAMED, R. Implicações das interações físico químicas no manejo de fertilizantes para sistemas de produção agrícola em solos tropicais. *In*: LAPIDO-LOUREIRO, F.E.V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Eds). **Fertilizantes: Agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. 139-147pp.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A.; KOSEGARTEN, H. *et al.* **Principles of plant nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 846 p.

MIELNICZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração - experiências brasileiras. *In*: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Eds). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. 556p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTAECIMENTO. Especificações dos fertilizantes minerais simples. 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/guia-de-servicos/arquivos/arquivos-bebidas-vinhos-e-derivados/anexo-i-especificacoes-dos-fertilizantes-minerais-simples.pdf>>. Acessado em: ago. 2017.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 623p.

NASCIMENTO, M; MONTE, M.B. de M.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E. Capítulo 8 – Agrominerais - Potássio, *In*: LUZ, A.B.; LINS, F.A.F. (Eds.). **Rochas e minerais industriais**. 2. ed. Riode Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, 2008.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. *In*: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. *et al.* (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 471-537pp.

OLIVEIRA, L.A.M. Potássio *In*: Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. **Sumário Mineral-2009**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2010. 76-77pp.

PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, 30: 1-50, 1978.

PNG, G.K.; TURNER, B.L.; ALBORNOZ, F.E. *et al.* Greater root phosphatase activity in nitrogen-fixing rhizobial but not actinorhizal plants with declining phosphorus availability. **Journal of Ecology**, 105: 1246-1255, 2017.

PRABHU, A.S.; FAGERIA, N.K.; HUBER, D.M. *et al.* Potassium and plant disease. *In*: DATNOFF, L.E.; ELMER, W.H.; HUBER, D.M. (Eds). **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul: The American Phytopathological Society Press, 2007. 220-278 p.

RAIJ, B van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: Instituto Internacional de Nutrição de Plantas, 2011. 420 p.

RECOUS, S.; MARY, B.; FAURIE, G. Microbial immobilization of ammonium and nitrate in cultivated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, 22: 913-922, 1990.

SANZONOWICZ, C.; MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fonte e métodos de aplicação de adubos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 9: 45-50, 1985.

SCHIMEL, D.S. Carbon and nitrogen turnover in adjacent grassland and cropland ecosystems. **Biogeochemistry**, 2: 345-357, 1986.

SHI, W.; NORTON, J.M. Microbial control of nitrate concentrations in an agricultural soil treated with dairy waste compost or ammonium fertilizer. **Soil Biology and Biochemistry**, 32: 1453-1457, 2000.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; LIMA, C.V.S. *et al.* Carbono

orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 1273-1282, 2008.

SPOSITO, G. **The Chemistry of the Soils**. 2nd edition. Oxford University Press, New York. 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

WHITE, P.J. Long-distance transport in the xylem and phloem. In: MARSCHNER, P. (Ed). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**, 3rd edition; London: Academic Press, 2012. 135-188pp.

YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 2005. 841p.



Composer

Av. Segismundo Pereira, 145 - B. Santa Mônica
Uberlândia - MG - Fone: (34) 3236-8611
grafica@composer.com.br

ISBN: 978-85-8324-056-3
9 788858 312405 > 3



UNIARAXÁ

CENTRO UNIVERSITÁRIO

