



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO

**CRESCIMENTO, FISILOGIA E NUTRIÇÃO DO FEIJOEIRO
SUBMETIDO A INTERAÇÕES ENTRE INÓCULO MICROBIANO E
ADUBAÇÃO.**

JOCTÃ LIMA DO COUTO

**CRUZ DAS ALMAS – BA
FEVEREIRO – 2011**

**CRESCIMENTO, FISIOLOGIA E NUTRIÇÃO DO FEIJOEIRO
SUBMETIDO A INTERAÇÕES ENTRE INÓCULO MICROBIANO E
ADUBAÇÃO.**

JOCTÃ LIMA DO COUTO

Engenheiro Agrônomo
Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, 2001

Dissertação submetida ao Colegiado de Curso do
Programa de Pós-Graduação em Ciências
Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo
da Bahia, como requisito parcial para obtenção do
Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de
Concentração Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Anacleto Ranulfo dos Santos
Coorientador: Prof. Dr. Jorge Antonio Gonzaga Santos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO BAHIA
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA -2011

FICHA CATALOGRÁFICA

C871 Couto, Joctã Lima do.
Crescimento, fisiologia e nutrição do feijoeiro submetido a interações entre inóculo microbiano e adubação / Joctã Lima do Couto._.
Cruz das Almas, 2011.
91f.; il.

Orientador: Anacleto Ranulfo dos Santos.

Co-orientador: Jorge Antonio Gonzaga Santos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

1.Feijão – Cultivo. 2.Feijão – Fertilidade – Avaliação.
I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 635.652

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
JOCTÃ LIMA DO COUTO**

Prof. Dr. Anacleto Ranulfo dos Santos
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
(Orientador)

Prof. Dr. Elvis Lima Vieira
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB

Prof. Dr. Francisco de Souza Fadigas
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Ciências
Agrárias em
Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias em

**Quando apanho uma folha seca caída no chão,
sinto nela a indiscutível lei do ciclo da vida.**

Mokiti Okada

Ao meu Pai Francisco do Couto,
À minha Mãe Valda Lima do Couto,
À minha Esposa Renata dos Santos Conceição do Couto,
Aos meus irmãos Melquizodeque, Darci, Ana Paula e Fernanda,
Aos meus filhos Juraci, Renan, Maria Eduarda, Darci e Ana Carolina

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e ao mestre Mokiti Okada.

Minha sincera gratidão:

Aos meus pais Francisco do Couto e Valda Lima do Couto;

À minha esposa Renata dos Santos Conceição do Couto;

Aos meus irmãos Melquizeque, Darci, Ana Paula e Fernanda;

Aos meus filhos Juraci, Renan, Maria Eduarda, Darci e Ana Carolina;

Ao Centro de Pesquisa da Fundação Mokiti Okada e aos colegas trabalho;

Aos Professores Anacleto Ranulfo dos Santos e Antonio Jorge Gonzaga Santos;

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e Professores do Curso;

À Embrapa e seus técnicos de laboratório;

Aos amigos Fonseca, Núbia e Carolina;

Aos colegas de turma do Mestrado e aos estagiários da Graduação;

E a todos que acompanharam esta jornada, e contribuíram para o sucesso deste empreendimento.

Que Deus Abençoe a todos.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	8
ABSTRACT	9
INTRODUÇÃO	10
Capítulo 1	13
RENDIMENTO DE MASSA SECA DA CULTURA DO FEIJOEIRO E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO SUBMETIDO A INTERAÇÕES ENTRE INÓCULO MICROBIANO E ADUBAÇÃO.	
Capítulo 2	32
FISIOLOGIA DO FEIJOEIRO SUBMETIDO A INTERAÇÕES ENTRE INÓCULO MICROBIANO E ADUBAÇÃO.	
Capítulo 3	52
EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES DA CULTURA DO FEIJOEIRO SUBMETIDO A INTERAÇÕES ENTRE INÓCULO MICROBIANO E ADUBAÇÃO.	
CONSIDERAÇÕES FINAIS	91

CRESCIMENTO, FISIOLOGIA E NUTRIÇÃO DO FEIJOEIRO SUBMETIDO A INTERAÇÕES ENTRE INÓCULO MICROBIANO E ADUBAÇÃO.

Autor: Eng. Agr. Joctã Lima do Couto.

Orientador: Prof. Dr. Anacleto Ranulfo dos Santos.

RESUMO: O presente trabalho objetivou avaliar os efeitos que a adição do inóculo microbiano ao solo causa no crescimento, na fisiologia e na nutrição do feijoeiro. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no período de novembro de 2009 a abril de 2010 utilizando o feijoeiro da variedade Carioca. O delineamento experimental foi em blocos casualizados e na composição dos tratamentos utilizou-se NPK, pó de rocha, capim napier, esterco de gado e o inóculo microbiano da Fundação Mokiti Okada, em solo natural e solo autoclavado. O arranjo das interações totalizou 16 tratamentos. As plantas de feijão foram cultivadas em vasos de 5 dm³ delineados em 5 blocos. Aos 8 e 15 dias após a inoculação do solo dos vasos foram coletadas amostras de solo de 0 a 5 cm de profundidade para determinação da respiração basal. No 16º dia após a inoculação o feijão foi semeado nos vasos e após a germinação foram conduzidas somente duas plantas. Durante o desenvolvimento das plantas de feijoeiro foram medidas a clorofila, a fotossíntese, a condutância estomática e a área foliar. Aos 33 dias após o plantio, as plantas foram colhidas, separadas em folhas, hastes e raízes. O material seco foi digerido para determinação de N, P, K, Ca e Mg. Os resultados encontrados e calculados foram submetidos a análise de variância e ao teste de contrastes ortogonais. O inóculo microbiano estimulou o crescimento radicular, a atividade microbiana e a absorção dos elementos cálcio, fósforo e magnésio. O uso da gramínea triturada foi mais eficiente que o esterco bovino, no estímulo da atividade microbiana no solo. O NPK foi mais eficiente que o pó de rocha, proporcionando aumento nos rendimentos de massa seca de folhas e raízes, e maior absorção dos elementos fósforo e potássio.

Palavras chave: *Phaseolus vulgaris* L, inoculação, absorção de nutrientes.

GROWTH, PHYSIOLOGY AND NUTRITION OF BEAN SUBMITTED INTERACTIONS BETWEEN INOCULUM MICROBIAL AND FERTILIZER.

Author: Eng. Agr. Joctã Lima do Couto

Adviser: Prof. Dr. Anacleto Ranulfo dos Santos

Abstract: This study aimed to evaluate the effects that the addition of the bacterial inoculum to cause soil on growth, physiology and nutrition of the bean. The experiment was conducted in a greenhouse on the Federal University of Bahia Recôncavo , from November 2009 to April 2010 using the bean variety Carioca. The experimental design was randomized blocks and composition of the NPK treatment was used, rock powder, dried and crushed napier grass, cattle manure, dry and leathery microbial inoculum Foundation Mokiti Okada, in natural soil and sterilized soil. The arrangement of interactions total of 16 treatments. The bean plants were grown in pots of 5 dm³ outlined in 5 blocks. At 8 and 15 days after inoculation of the soil of the pots were collected soil samples from 0 to 5 cm depth for determination of basal respiration. On the 16th day after inoculation, the bean was planted in pots and after germination were conducted only two plants. During the development of the plants were measured chlorophyll, photosynthesis, stomatal conductance and leaf area. At 33 days after planting, the plants were harvested, separated into leaves, stems and roots. All plant material was dried in an oven at 65 °C with forced air circulation and digested for determination of N, P K, Ca and Mg. The results were calculated and submitted to analysis of variance test and orthogonal contrasts. The microbial inoculum stimulated root growth, microbial activity and absorption of the elements calcium, phosphorus and magnesium. The use of crushed grass was more efficient than the cattle in the stimulation of microbial activity in soil. The NPK was more efficient than the rock powder, providing increased yields of dry mass of leaves and roots, and increased absorption of phosphorus and potassium elements.

Key words: Phaseolus vulgaris L, inoculation, nutrient absorption.

INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a espécie mais cultivada entre as demais do gênero *Phaseolus* e cerca de 70 % da produção mundial foi oriunda de apenas sete países, sendo o Brasil o maior produtor, respondendo por 16,3 % da produção mundial (EMBRAPA, 2011).

A Região do Recôncavo Baiano destaca-se pelo plantio da cultura do feijoeiro por pequenos produtores, visando o próprio consumo e a venda em feiras livres, sendo que o plantio se dá no período das águas, de março a junho. Tradicionalmente o feijão é plantado em consórcio com o milho e alternado a cultura da mandioca e aipim.

Segundo relatos de Resende (2000), os solos do Recôncavo Baiano são predominantemente do tipo LATOSSOLOS. Caracterizado por apresentar uma camada adensada logo abaixo do horizonte, podendo chegar a 1,0 m de espessura, condição que reduz a permeabilidade para o ar e água, dificultando o fluxo de nutrientes e impedindo o aprofundamento das raízes, sendo normalmente distróficos ou álicos, com acidez acentuada e baixa capacidade de troca catiônica.

Os nutrientes minerais desempenham funções estruturais, participam como constituintes e na ativação enzimática das plantas. A nutrição mineral da planta está envolvida diretamente na sua produtividade e na qualidade do produto. Prevot (1949) destacou a importância do nitrogênio para a cultura do feijão. Os solos cultivados com feijão são pobres em fósforo e, segundo Sichmann (1963) esse nutriente é o principal fator de aumento no rendimento da cultura. York e Colwell (1951) observaram que o potássio estimulava o crescimento vegetativo do feijoeiro, porém causava perda da qualidade dos grãos. Entretanto, o efeito prejudicial do potássio sobre a qualidade do feijão era superado pela manutenção de um adequado nível de cálcio no solo.

Os Microrganismos Eficazes (EM) foram desenvolvidos por Teruo Higa, na Universidade de Ryukyus, Okinawa, Japão, em 1980. Esses Microrganismos classificados como eficazes consistem em culturas mistas dos tipos benéficos que basicamente são: bactérias produtoras de ácido lático, bactérias fotossintetizantes, leveduras, actinomicetos, fungos filamentosos e outros que ocorrem normalmente no ambiente. Esses produtos podem ser utilizados como inoculantes, para aumentar rapidamente a diversidade e o número de

Microrganismos benéficos dos solos e das plantas, integrando o equilíbrio microbiológico do solo e da planta, regenerando o solo, a produtividade das plantas e a qualidade do produto agrícola (HOMMA, 2003).

O inóculo microbiano é um produto farelado, composto de materiais orgânicos, submetidos a processos fermentativos controlados no qual se utiliza o EM. A fermentação predominante é do tipo láctico, porém, ocorre simultaneamente em menor intensidade os tipos acéticos, alcoólicos, propiônicos, butílicos, dentre outros. Umidade, temperatura, tipo e estado das matérias prima e as proporções de carbono e nitrogênio são os fatores que mais interferem para se obter uma boa fermentação dos materiais vegetais, e, a qualidade final do inóculo (CHAGAS *et al*, 1999).

O retorno de material orgânico ao solo é essencial, e sua aplicação periódica se torna indispensável. Seu efeito principal é sobre a bioestrutura do solo. Para isso, a incorporação superficial de palha ou de qualquer material celulósico é adequada. O material orgânico contribui para a sanidade vegetal, por diversificar a vida do solo, produzir substâncias fungistáticas como fenóis e permitir a produção de antibióticos por bactérias. Porém, o efeito do material orgânico depende do seu manejo adequado (PRIMAVESI, 2002).

Entre os efeitos da adubação verde sobre a fertilidade do solo estão o aumento da concentração de matéria orgânica; a maior disponibilidade de nutrientes; a maior capacidade de troca de cátions efetiva do solo; o favorecimento da produção de ácidos orgânicos, de fundamental importância para a solubilização de minerais; a diminuição das concentrações de alumínio trocável através de sua complexação, e o incremento da capacidade de ciclagem e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis que estejam nas camadas mais profundas do perfil (ALCANTARA *et al*, 2000).

A respiração basal do solo é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO₂ é produzido. As bactérias e os fungos são os principais responsáveis pela maior liberação de CO₂ via degradação da matéria orgânica. A respiração basal do solo possui uma estreita relação com as condições abióticas do solo, entre elas a umidade, temperatura e aeração (SILVA *et al*, 2007).

Os estômatos são estruturas extremamente importantes para a fisiologia das plantas, estando diretamente ligados ao controle e regulação de dois

processos vitais: fotossíntese e transpiração. A cutícula que cobre a folha é quase impermeável a água, a maioria dos resultados de transpiração foliar da difusão de vapor de água ocorrem através do poro estomático (TAIZ e ZEIGER, 2002).

O movimento de abertura e de fechamento estomático depende das particularidades fisiológicas das células guardas e dos fatores ambientais. O controle estomático serve para maximizar a fotossíntese, enquanto minimizam a transpiração. Este controle estar sob efeito biológico e, é a maneira fundamental da planta controlar as trocas gasosas através das superfícies foliares. Este controle é exercido por um par de células epidérmicas especializadas, as células guardas (VIEIRA et al, 2010).

Fotossíntese é a construção ou síntese de compostos orgânicos pela luz. Esta propriedade somente é atribuída aos seres autotróficos, capazes de capturar, transformar e armazenar a energia radiante eletromagnética gerada pelo sol, em compostos orgânicos com ligações químicas ricas em energia. Os principais fatores que influenciam na eficiência da fotossíntese são: a luz, concentração de CO₂ e O₂, a temperatura, a água, fatores internos da planta, fertilidade do solo e a ação de pesticidas (VIEIRA et al, 2010).

O presente trabalho objetivou avaliar os efeitos que a adição do inóculo microbiano ao solo causa no crescimento, na fisiologia e na nutrição do feijoeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, F. A., NETO, A. E. F., PAULA, M. B., MESQUITA, H. A. E MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-escuro degradado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.35, n.2, p.277-288, fev. 2000.

CHAGAS, P.P.R., et al, Efficiency of lime-sulfur in teh control of mite im papaya in conventional and organic(Bokashi-EM) systems. In SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON KYUSEI NATURE FARMING,. Pretoria, **Proceedings on Kyusei Nature Farming and Effecitve Microorganisms for Agricultural and Enviromental Sustainability**. Pretoria. Senannayabe, Y.D.; 1999.

EMBRAPA - **Cultivo do Feijoeiro Comum** <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/index.htm> Acesado em fevde 2011.

HOMMA, S. Kenji, **Nutri-Bokashi em respeito a natureza**, São Paulo, 2003.

PREVOT, P. **Croissance, developpement et nutrition minerale de l'arachide**. Societe d'Editions Techniques Coloniales, Paris, Serie Scientifique 4: 1-108. 1949.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**, São Paulo, Nobel, 2002.

REZENDE, J. de O. Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo.Salvador, BA: SEAGRI/SPA, 2000. 117 p. il.

SICHMANN, W. **Amendoim torna-se estudo**. São Paulo, Coopercotia, 1963.

SILVA, E. E., AZEVEDO, P. H. S. E DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). **Comunicado Técnico 99 – EMBRAPA**. Seropédica – RJ, 2007

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 3rd ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 690p.

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SANTOS, J. S. **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luis: EDUFMA, 2010. 230p.

YORK,E. T., E. COLWELL, **Soil properties fertilization and maintenance of soil fertility**. In peanut the unpredictable legume. Washington, The National Fertilizer Assoc., 1951. p – 122-172.

CAPÍTULO 1

RENDIMENTO DE MASSA SECA DA CULTURA DO FEIJOEIRO E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO SUBMETIDO A INTERAÇÕES ENTRE INÓCULO MICROBIANO E ADUBAÇÃO.

RENDIMENTO DE MASSA SECA DA CULTURA DO FEIJOEIRO E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO SUBMETIDO A INTERAÇÕES ENTRE INÓCULO MICROBIANO E ADUBAÇÃO.

Autor: Eng. Agr. Joctã Lima do Couto.

Orientador: Prof. Dr. Anacleto Ranulfo dos Santos.

RESUMO: Este trabalho objetivou avaliar os efeitos da adição de inóculo microbiano ao solo sobre a atividade microbiana do solo e o rendimento de massa seca da cultura do feijoeiro. O experimento foi instalado em casa de vegetação no campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em Cruz das Almas – Bahia, no período de novembro de 2009 a abril de 2010, utilizando o feijoeiro da variedade Carioca. O delineamento experimental foi em blocos casualizados e na composição dos tratamentos utilizou-se NPK, pó de rocha, capim napier seco e triturado, esterco de gado curtido e seco e o inóculo microbiano da Fundação Mokiti Okada, em solo natural e solo autoclavado. Foram estruturados 16 tratamentos com 5 blocos. As plantas de feijão foram cultivadas em vasos de 5 dm³. Aos 8 e 15 dias após a inoculação do solo dos vasos foram coletadas amostras de solo de 0 a 5 cm de profundidade para determinação da respiração basal. No 16º dia após a inoculação o feijão foi semeado nos vasos e após a germinação foram conduzidas somente duas plantas. Aos 33 dias após o plantio, as plantas foram colhidas, separadas em folhas, hastes e raízes. Todo material vegetal foi desidratado em estufa a 65 °C com circulação de ar forçado. O material seco foi pesado em balança analítica e os resultados encontrados e calculados foram submetidos a análise de variância e ao teste de contrastes ortogonais. O inóculo microbiano estimulou o crescimento radicular e a atividade microbiana. O uso da gramínea triturada foi mais eficiente que o esterco bovino, no estímulo da atividade microbiana no solo. O NPK foi mais eficiente que o pó de rocha, proporcionando aumento nos rendimentos de massa seca de folhas e raízes.

Palavras chave: adubação do feijoeiro, microrganismos do solo, adubação verde

**YIELD OF DRY MASS CULTURE OF BEAN AND ACTIVITY SOIL MICROBIAL
SUBMITTED INTERACTIONS BETWEEN INOCULUM MICROBIAL AND
FERTILIZER.**

Author: Eng. Agr. Joctã Lima do Couto

Adviser: Prof. Dr. Anacleto Ranulfo dos Santos

ABSTRACT: This study evaluated the effects of adding microbial inoculum to the soil on soil microbial activity and yield of dry bean crop. The experiment was conducted in a greenhouse on the campus of University of Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas - Bahia, from November 2009 to April 2010, using the bean variety Carioca. The experimental design was randomized blocks and composition of the NPK treatment was used, rock powder, dried and crushed napier grass, cattle manure, dry and leathery microbial inoculum Foundation Mokiti Okada, in natural soil and sterilized soil. 16 treatments were structured with five blocks. The bean plants were grown in pots of 5 dm³. At 8 and 15 days after inoculation of the soil of the pots were collected soil samples from 0 to 5 cm depth for determination of basal respiration. On the 16th day after inoculation, the bean was planted in pots and after germination were conducted only two plants. At 33 days after planting, the plants were harvested, separated into leaves, stems and roots. All plant material was dried in an oven at 65 °C with forced air circulation. The dry material was weighed on an analytical balance and the results were calculated and submitted to analysis of variance test and orthogonal contrasts. The microbial inoculum stimulated root growth and microbial activity. The use of crushed grass was more efficient than the cattle in the stimulation of microbial activity in soil. The NPK was more efficient than the rock fertilizers, providing increased yields of dry mass of leaves and roots.

Key words: fertilization of bean, soil microorganisms, green manure.

INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris*, L., Leguminosae) é originário da América do Sul e representa uma importante fonte protéica na dieta humana dos países em desenvolvimento das regiões tropicais e subtropicais.

No Brasil, o feijão é um dos componentes básicos da dieta alimentar da população, principalmente das classes economicamente menos favorecidas. A produção nacional prevista para safra 2010 / 2011 é de cerca de 3,4 milhões de toneladas de feijão, com produtividade média de 944 kg ha⁻¹ (CONAB, 2010), sendo que em áreas irrigadas a produtividade alcança 3.000 kg ha⁻¹.

A Região do Recôncavo Baiano destaca-se pelo plantio da cultura do feijoeiro por pequenos produtores, visando o próprio consumo e a venda em feiras, sendo que o plantio se dá no período das águas, de março a junho. Tradicionalmente o feijão é plantado em consórcio com o milho e alternado a cultura da mandioca e aipim.

O baixo uso de tecnologia, a necessidade hídrica e a suscetibilidade a pragas e doenças são alguns dos fatores que fazem do feijão uma cultura de risco. Por isso, em alguns anos, a produção é alta e, em outras há quebras de safras (FUSCALDIL e PRADO, 2005), o que respalda a necessidade de investimentos em pesquisas, que melhorem o manejo da cultura, mesmo com baixa tecnologia, mas, acessíveis para pequenos produtores.

O inóculo microbiano é um produto composto de materiais orgânicos, submetidos a processos fermentativos controlados. A fermentação predominante é do tipo láctico, porém, ocorre simultaneamente em menor intensidade os tipos acéticos, alcoólicos, propiônicos, butílicos, dentre outros. Umidade, temperatura, tipo e estado das matérias prima e as proporções de carbono e nitrogênio são os fatores que mais interferem para se obter uma boa fermentação dos materiais vegetais, e, a qualidade final do inóculo (CHAGAS et al. 1999).

Os processos microbianos são uma parte integral da qualidade do solo e a atividade dos microrganismos do solo pode servir como indicador biológico para a compreensão da estabilidade e produtividade dentro de um sistema. A microbiota do solo é considerada bioindicador da qualidade do solo, sendo uma medida do

status biológico do solo. Os microrganismos são muito sensíveis e podem ser influenciados pelos fatores bióticos e abióticos. (PEÑA et al, 2005)

O retorno de material orgânico ao solo é essencial, e sua aplicação periódica se torna indispensável. Seu efeito principal é sobre a bioestrutura do solo. Para isso, a incorporação superficial de palha ou de qualquer material celulósico é adequada. O material orgânico contribui para a sanidade vegetal, por diversificar a vida do solo, produzir substâncias fungistáticas como fenóis e permitir a produção de antibióticos por bactérias. Porém, o efeito do material orgânico depende do seu manejo adequado (PRIMAVESI, 2002).

Entre os efeitos da adubação verde sobre a fertilidade do solo estão o aumento da concentração de matéria orgânica; a maior disponibilidade de nutrientes; a maior capacidade de troca de cátions efetiva do solo; o favorecimento da produção de ácidos orgânicos, de fundamental importância para a solubilização de minerais; a diminuição das concentrações de alumínio trocável através de sua complexação, e o incremento da capacidade de ciclagem e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis que estejam nas camadas mais profundas do perfil (ALCANTARA et al, 2000).

A respiração basal do solo é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO₂ é produzido. As bactérias e os fungos são os principais responsáveis pela maior liberação de CO₂ via degradação da matéria orgânica. A respiração basal do solo possui uma estreita relação com as condições abióticas do solo, entre elas a umidade, temperatura e aeração (SILVA et al, 2007).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos que da adição de inóculo microbiano ao solo sobre a atividade microbiana do solo e o rendimento de massa seca da cultura do feijoeiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi instalado em casa de vegetação no campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, situada no Município de Cruz das Almas – Bahia, no período de novembro de 2009 a abril de 2010 utilizando o feijoeiro da variedade Carioca.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados e na composição dos tratamentos utilizou-se NPK, pó de rocha, capim napier seco e triturado, esterco de gado curtido e seco e o inóculo microbiano da Fundação Mokiti Okada, em solo natural e solo autoclavado. O arranjo das interações totalizou 16 tratamentos, abaixo descritos:

Tratamentos testados:

- 1 - Testemunha absoluta – solo natural
- 2 - Testemunha relativa - Calagem.
- 3 - Calagem + NPK.
- 4 - Calagem + NPK + Gramínea triturada.
- 5 - Calagem + NPK + (Gramínea triturada + Inóculo microbiano).
- 6 - Calagem + NPK + Esterco bovino curtido.
- 7 - Calagem + NPK + (Esterco bovino curtido + Inóculo microbiano).
- 8 - Calagem + Pó de rocha.
- 9 - Calagem + Pó de rocha + Gramínea triturada.
- 10 - Calagem + Pó de rocha + (Gramínea triturada + Inóculo microbiano).
- 11 - Calagem + Pó de rocha + Esterco bovino curtido.
- 12 - Calagem + Pó de rocha + (Esterco bovino curtido + Inóculo microbiano).
- 13 - (Calagem) Autoclavado
- 14 - (Calagem) Autoclavado + NPK.
- 15 - (Calagem) Autoclavado + NPK + Gramínea triturada.
- 16 - (Calagem) Autoclavado + NPK + (Gramínea triturada + Inóculo microbiano).

As plantas de feijão foram cultivadas em vasos de 5 dm³, cuja altura era de 0,20 m, a base 0,15 m de diâmetro e a abertura superior 0,20 m de diâmetro, delineados em 5 blocos, submetidos a regas diárias mantendo o solo próximo da

capacidade de campo. No interior da casa de vegetação foram registradas temperaturas mínimas de 20° C e máximas de 34° C, e uma umidade relativa do ar média de 80 %.

Para o experimento foi coletado um Latossolo Amarelo de uma área de pastagem, e suas características químicas e granulométricas estão na tabela 1.1.

Tabela – 1.1 Características químicas e granulométricas do Latossolo Amarelo.

	mg dm ⁻³	Cmol _c dm ⁻³								%			
pH	P	K	Ca	Mg	Al	Na	H+Al	S	CTC	V	Argila	Areia	Silte
5,0	2,41	0,17	0,30	0,82	0,30	0,06	2,25	1,35	3,6	38	25,2	69,4	5,4

Com base nos resultados das análises químicas, foi feita calagem, elevando a saturação por base para 50%, utilizando-se 3 g de calcário dolomítico por vaso. As fontes de NPK utilizadas foram: cloreto de potássio (0,17 g vaso⁻¹), superfosfato simples (1,53 g vaso⁻¹) e uréia (0,34 g vaso⁻¹), nas dosagens recomendadas no manual de adubação de Minas Gerais (RIBEIRO et al, 1999). O pó de rocha originário da região de Ipirá - BA, foi utilizado na proporção de 2.500 kg ha⁻¹ (6,25 g vaso⁻¹), esta quantidade de pó de rocha equivale a 0,215 g vaso⁻¹ de P₂O₅ solúveis em ácido clorídrico, enquanto que a quantidade de superfosfato simples utilizado disponibiliza 0,221 g vaso⁻¹ de P₂O₅ solúveis em água. Na tabela 1.2 encontra-se a descrição química do pó de rocha.

Tabela – 1.2 Características químicas do pó de rocha de Ipirá.

g kg ⁻¹									mg dm ⁻³
P	K	Ca	Mg	Al	Na	Fe	SiO ₂	N	
15	24	42	11	77	24	45	544	84,7	

Os materiais orgânicos foram ministrados na proporção de 10.000 kg ha⁻¹ de esterco bovino curtido e seco (25 g vaso⁻¹) que equivale a 0,056 g vaso⁻¹ de P₂O₅ e 20.000 kg ha⁻¹ de capim napier triturado e seco (50 g vaso⁻¹) que equivale a 0,054 g vaso⁻¹ de P₂O₅.

O inóculo microbiano foi produzido pelo Centro de Pesquisa da Fundação Mokiti Okada, sendo composto de materiais orgânicos, submetidos a processos fermentativos controlados. A fermentação predominante é do tipo láctico, porém, ocorre simultaneamente em menor intensidade os tipos acéticos, alcoólicos,

propiónicos, butílicos, dentre outros, e foi utilizado na proporção de 1.000 kg ha⁻¹ (2,5 g vaso⁻¹).

Após 45 de incubação com calcário dolomítico, o solo úmido dos respectivos tratamentos foram autoclavados a temperatura de 120 °C, sobre pressão de 1 atm durante 30 minutos, e permaneceram vedados até o momento da inoculação. O inóculo microbiano foi previamente misturado ao material orgânico para em seguida ser adicionado ao solo.

Antes da instalação do experimento foi realizado um ensaio de laboratório para avaliar a curva da respiração basal no decorrer dos dias. Foram utilizados 6 tratamentos, sendo: Trat 1 – Gramínea triturada e seca incorporada ao solo; Trat 2 – Gramínea triturada e seca parcialmente incorporada ao solo; Trat 3 – Gramínea triturada e seca em cobertura ao solo; Trat 4 – Gramínea triturada e seca + inóculo incorporados ao solo; Trat 5 – Gramínea triturada e seca + inóculo parcialmente incorporados ao solo; Trat 6 – Gramínea triturada e seca + inóculo em cobertura ao solo. A respiração basal foi medida utilizando a metodologia dos potes fechados descrita por Isermeyer (1952) citado por Alef e Nannipieri (1995).

Com base nos resultados deste ensaio (figura 1.1), determinou-se que a partir do 16º dia após a inoculação a atividade microbiana se estabilizava, sendo o momento adequado para a semeadura.

Aos 8 e 15 dias após a inoculação do solo dos vasos foram coletadas amostras de solo de 0 a 5 cm de profundidade de todos os 16 tratamentos para determinação da respiração basal. Foi utilizada a metodologia descrita anteriormente.

No 16º dia após a inoculação o feijão foi semeado nos vasos e após a germinação foram conduzidas somente duas plantas.

Aos 33 dias após o plantio, as plantas foram colhidas, separadas em folhas, hastes e raízes. Todo material vegetal foi desidratado em estufa a 65 °C com circulação de ar forçado.

O material seco foi pesado em balança analítica e os resultados encontrados e calculados foram submetidos a análise de variância e ao teste de contrastes ortogonais.

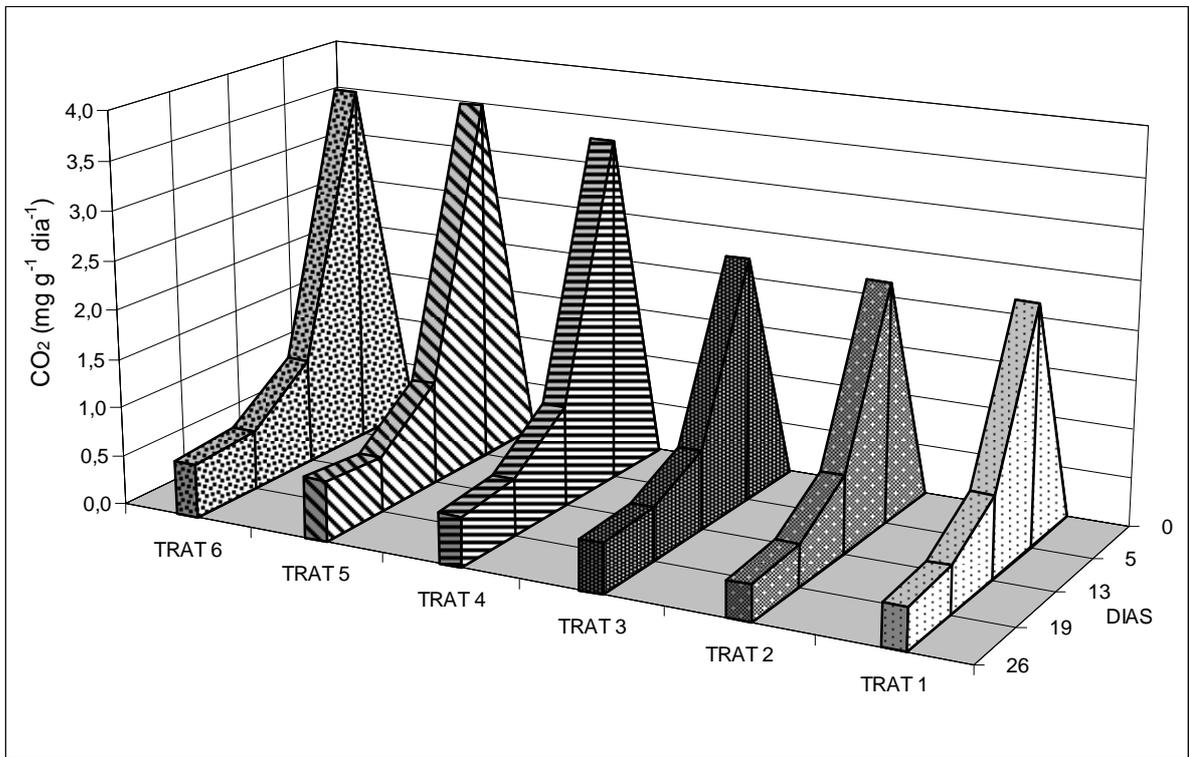


Figura 1.1. Respiração basal do solo, em experimento conduzido em laboratório.

Trat 1 – Gramínea incorporada ao solo; Trat 2 – Gramínea parcialmente incorporada ao solo; Trat 3 – Gramínea em cobertura ao solo; Trat 4 – Gramínea + Inóculo incorporados ao solo; Trat 5 – Gramínea + inóculo parcialmente incorporados ao solo; Trat 6 – Gramínea + inóculo em cobertura ao solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1 – Atividade microbiana do solo

Na tabela 1.3 estão os valores de CO₂ em µg g⁻¹ dia⁻¹ de respiração basal do solo aos 8 e 15 dias após a inoculação.

Os tratamentos NPK + gramínea + inóculo (Trat 5) e pó de rocha + gramínea + inóculo (Trat 10) apresentaram os maiores resultados de respiração para o 8º dia, sendo que sua atividade foi cerca de 1.200 % acima da testemunha relativa. Em primeira análise a presença da gramínea atuou como fonte de alimento para os microrganismos presentes no solo melhorando a sua bioestrutura. Esta condição favorece a elevação atividade microbiana, produzindo mucilagens e ácidos orgânicos, capazes de estabilizar os agregados do solo.

Tabela 1.3 – Valores médios da respiração basal do solo e valor percentual aos 8º e 15º dias após a inoculação (média de 5 repetições).

Tratamentos	8º dia		15º dia	
	CO ₂ (µg g ⁻¹ dia ⁻¹)	%	CO ₂ (µg g ⁻¹ dia ⁻¹)	%
1 Ta	27,2	151	21,0	134
2 Tr	18,0	100	15,7	100
3 NPK	18,7	104	14,7	94
4 NPK + Gram	178,5	992	108,1	689
5 NPK + Gram + Inoc	239,6	1.331	135,8	865
6 NPK + Est	13,6	75	15,1	96
7 NPK + Est + Inoc	38,9	216	24,8	158
8 PR	18,9	105	17,6	112
9 PR + Gram	167,9	933	121,5	774
10 PR + Gram + Inoc	234,9	1.305	147,5	939
11 PR + Est	13,7	76	14,9	95
12 PR + Est + Inoc	35,0	195	26,0	166
13 Aut	16,8	93	15,3	98
14 Aut + NPK	13,6	75	13,2	84
15 Aut + NPK + Gram	132,8	738	94,8	604
16 Aut + NPK + Gram + Inoc	154,9	861	143,3	913
CV	37,9 %		30,2 %	
Pr > F	0,0001		0,0001	

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 significam que na variável estuda pelo menos um tratamento é superior aos demais.,

O tratamento NPK+ gramínea + inóculo (Trat 5) foi 54,68 % maior do que o tratamento solo autoclavado + NPK+ gramínea + inóculo (Trat 16), enquanto que a diferença entre os tratamentos 4 e 5 foi de 34,23 % e entre os tratamentos 15 e 16 foi de 16,64 %, sendo que em ambas as comparações a diferença é a presença do inóculo. Podemos afirmar que o inóculo, com sua população exótica, foi mais eficiente quando associado a população nativa do solo, não sendo capaz de colonizar o ambiente do solo, mas de alguma forma ele potencializou a população nativa. Ao 15º dia a atividade microbiana tende a estabilização passando da condição de imobilização dos nutrientes do solo para liberação dos mesmos.

A esse respeito, Sala et al (2007) afirmaram que possivelmente, nas associações de bactéria endofítica, a condição de baixa pressão de O₂ é essencial para o funcionamento da nitrogenase e, conseqüentemente, para a fixação biológica de nitrogênio. Esta condição pode ser obtida com a alta taxa de respiração da bactéria.

A determinação da respiração do solo no campo tem sido usada para avaliar a atividade geral da biomassa do solo, estimando-se a mineralização e estabilização do C quando relacionada ao tipo de matéria orgânica e a sua taxa de adição dentro ou sobre o solo, mensurando o ganho de nutrientes e carbono ao solo, manejando este material de forma mais eficiente (RODRIGUES, 1999).

Na tabela 1.4 estão dispostos o estudo de 20 contrastes ortogonais entre vários tratamentos, para a respiração basal do solo no 8º dia após a inoculação.

Os contrastes \hat{Y}_1 , \hat{Y}_3 e \hat{Y}_9 mostram que sempre que houve adição de gramínea triturada a atividade microbiana foi incrementada, independente da solubilidade dos adubos inorgânicos e se o solo estava no estado natural ou autoclavado. Isto ocorreu devido a gramínea, material orgânico cru, dispor de carboidratos metabólicos capazes de estimular o crescimento microbiano e sua atividade. Esta é uma pratica usual no manejo utilizando a incorporação de adubação verde.

Nos contrastes \hat{Y}_2 e \hat{Y}_4 a adição do inóculo microbiano na gramínea aumentou a atividade dos microrganismos, aumentando sua população, tanto na presença de NPK quanto na presença de pó de rocha.

Ao compararmos a aplicação de gramínea triturada com o esterco bovino curtido, verifica-se que o primeiro sempre foi mais eficiente em incrementar a atividade dos microrganismos (contrastos \hat{Y}_{11} , \hat{Y}_{12} , \hat{Y}_{13} e \hat{Y}_{14}) seja com NPK ou pó

de rocha, e na presença ou ausência do inóculo. Isto por que na gramínea há maior concentração de carboidratos do que no esterco. Logo, quando o objetivo é promover o a biodiversidade de organismos no solo, aumentando sua supressividade, a aplicação de gramínea seca e triturada é o mais indicado.

No contrastes \hat{Y}_{18} o solo natural teve maior atividade que solo autoclavado, quando ambos estão associados ao NPK + gramínea + inóculo. Isto demonstra que a população microbiana nativa é de primordial importância para o equilíbrio do solo, e o inóculo não é capaz de povoar e se fixar neste solo. Provavelmente o inóculo criou condições para que a população nativa se desenvolvesse de forma mais eficiente, pois as substâncias produzidas por bactérias podem estimular o desenvolvimento do micélio fúngico e sua ramificação, o que pode aumentar o número de pontos de infecção no hospedeiro (ABOUL-NASR, 1996 citado por FILHO E NOGUEIRA 2007).

Avaliando de forma geral, os tratamentos contendo inóculo foram os que promoveram maior atividade microbiana (contrastes \hat{Y}_{19})

Tabela 1.4 – Estimativas dos contrastes ortogonais para as respiração basal do solo no 8º dia após a inoculação (média de 5 repetições).

Contrastes		Estimativa	Pr > F
$\hat{Y}_1 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Gram)	-160,0	0,0001
$\hat{Y}_2 = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Gram + Inoc)	-60,7	0,0032
$\hat{Y}_3 = (\text{PR})$	vs. (PR + Gram)	-149,3	0,0001
$\hat{Y}_4 = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	-67,3	0,0012
$\hat{Y}_5 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Est)	5,3	0,7888
$\hat{Y}_6 = (\text{NPK} + \text{Est})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	-24,7	0,2179
$\hat{Y}_7 = (\text{PR})$	vs. (PR + Est)	4,7	0,8146
$\hat{Y}_8 = (\text{PR} + \text{Est})$	vs. (PR + Est + Inoc)	-21,3	0,2859
$\hat{Y}_9 = (\text{Aut} + \text{NPK})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	-119,3	0,0001
$\hat{Y}_{10} = (\text{Aut} + \text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	-22,7	0,2571
$\hat{Y}_{11} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Est)	165,3	0,0001
$\hat{Y}_{12} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	201,3	0,0001
$\hat{Y}_{13} = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Est)	154,0	0,0001
$\hat{Y}_{14} = (\text{PR} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Est + Inoc)	200,0	0,0001
$\hat{Y}_{15} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram)	11,3	0,5695
$\hat{Y}_{16} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	4,7	0,8146
$\hat{Y}_{17} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	46,7	0,0217
$\hat{Y}_{18} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	84,7	0,0001
$\hat{Y}_{19} = \text{Tratamentos com Inoc}$	vs. Tratamentos sem Inoc	196,7	0,0001
$\hat{Y}_{20} = \text{Tratamentos com NPK}$	vs. Tratamentos com PR	16,7	0,6291

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 são considerados como contraste significativo.

Valor de estimativa positivo refere-se a 1ª coluna e negativo refere-se a 2ª coluna.

2 - Rendimento de massa seca da cultura do feijoeiro

Na tabela 1.5 estão as produções de massa seca das folhas, hastes e raízes em gramas (g) e as relações entre elas.

O tratamento 5, que contém NPK + gramínea + inóculo microbiano, proporcionou a maior produção de massa seca de folhas, hastes e raízes. Determinando um acréscimo de 82 %, 94 % e 56 %, respectivamente, em relação a testemunha relativa.

Fonseca (2005) trabalhando com a cultura do amendoazeiro, também obteve aumentos de produção de massa seca da planta ao utilizar inóculos microbianos.

Tabela 1.5 – Valores médios da massa seca de folhas, hastes e raízes, da cultura do feijoeiro e a relação entre elas (média de 5 repetições).

Tratamentos	Folhas	Hastes	Raízes	Relação		
	g	g	g	F:H	F:R	H:R
1 Ta	1,011	0,277	0,362	3,65	2,79	0,76
2 Tr	1,020	0,368	0,527	2,77	1,93	0,70
3 NPK	1,375	0,522	0,818	2,63	1,68	0,64
4 NPK + Gram	1,786	0,667	0,643	2,68	2,78	1,04
5 NPK + Gram + Inoc	1,860	0,715	0,823	2,60	2,26	0,87
6 NPK + Est	1,610	0,535	0,520	3,01	3,09	1,03
7 NPK + Est + Inoc	1,593	0,542	0,417	2,94	3,82	1,30
8 PR	1,051	0,429	0,529	2,45	1,99	0,81
9 PR + Gram	1,376	0,585	0,538	2,35	2,56	1,09
10 PR + Gram + Inoc	1,708	0,624	0,396	2,74	4,32	1,58
11 PR + Est	1,603	0,448	0,503	3,58	3,19	0,89
12 PR + Est + Inoc	1,472	0,519	0,563	2,84	2,62	0,92
13 Aut	0,921	0,298	0,377	3,09	2,44	0,79
14 Aut + NPK	1,621	0,264	0,327	6,14	4,96	0,81
15 Aut + NPK + Gram	1,315	0,257	0,162	5,12	8,13	1,59
16 Aut + NPK + Gram + Inoc	1,309	0,287	0,192	4,56	6,82	1,49
CV	24,4 %	19,4 %	24,0%	-	-	-
Pr > F	0,0002	0,0001	0,0001	-	-	-

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 significam que na variável estudada pelo menos um tratamento é superior aos demais.

Avaliando a massa de raízes nos tratamentos com solo autoclavado observa-se que com a adição da gramínea (Trat 15 e 16) ocorre uma inibição do desenvolvimento radicular, limitando seu crescimento pela metade.

Provavelmente a ausência dos microrganismos nativos limitou o processo oxidativo da matéria orgânica, produzindo substâncias nocivas ao desenvolvimento radicular, e esta ausência não foi suprida pelo inóculo. Como consequência a relação folhas : raízes (F : R) destes dois tratamentos foi a mais elevada.

Na tabela 1.6 estão dispostos o estudo de 20 contrastes ortogonais entre vários tratamentos, para a massa seca das folhas do feijoeiro.

O contraste \hat{Y}_7 mostra o efeito positivo do esterco bovino quando associado ao pó de rocha.

Nos contrastes \hat{Y}_{17} e \hat{Y}_{18} verifica-se o efeito deletério do processo da autoclavagem do solo, que devido a ação térmica deve ter causado desequilíbrio químico na solução do solo.

Tabela 1.6 – Estimativas dos contrastes ortogonais para a massa seca das folhas da cultura do feijoeiro (média de 5 repetições).

Contrastes		Estimativa	Pr > F
$\hat{Y}_1 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Gram)	-0,41	0,0638
$\hat{Y}_2 = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Gram + Inoc)	-0,08	0,7222
$\hat{Y}_3 = (\text{PR})$	vs. (PR + Gram)	-0,32	0,1428
$\hat{Y}_4 = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	-0,33	0,1311
$\hat{Y}_5 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Est)	-0,24	0,2839
$\hat{Y}_6 = (\text{NPK} + \text{Est})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	0,02	0,9346
$\hat{Y}_7 = (\text{PR})$	vs. (PR + Est)	-0,55	0,0136
$\hat{Y}_8 = (\text{PR} + \text{Est})$	vs. (PR + Est + Inoc)	0,13	0,5417
$\hat{Y}_9 = (\text{Aut} + \text{NPK})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	0,31	0,1660
$\hat{Y}_{10} = (\text{Aut} + \text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	0,01	0,9782
$\hat{Y}_{11} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Est)	0,18	0,4233
$\hat{Y}_{12} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	0,27	0,2175
$\hat{Y}_{13} = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Est)	-0,23	0,2962
$\hat{Y}_{14} = (\text{PR} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Est + Inoc)	0,24	0,2799
$\hat{Y}_{15} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram)	0,41	0,0650
$\hat{Y}_{16} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	0,15	0,4833
$\hat{Y}_{17} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	0,47	0,0352
$\hat{Y}_{18} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	0,55	0,0136
$\hat{Y}_{19} = \text{Tratamentos com Inoc}$	vs. Tratamentos sem Inoc	0,25	0,6048
$\hat{Y}_{20} = \text{Tratamentos com NPK}$	vs. Tratamentos com PR	0,89	0,0223

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,0500 são considerados como contraste significativo.

Valor de estimativa positivo refere-se a 1ª coluna e negativo refere-se a 2ª coluna.

No contraste \hat{Y}_{20} está o efeito geral do NPK em comparação com o pó de rocha, sendo que o primeiro foi mais eficiente no aumento da produção de massa

seca de folhas, pois a velocidade de solubilização dos íons no NPK é mais rápida, favorecendo a maior absorção e assimilação pela plantas, visto que não houve limitação hídrica durante o cultivo.

De modo geral o inóculo microbiano não influenciou na produção de massa seca de folhas.

Na tabela 1.7 estão dispostos o estudo de 20 contrastes ortogonais entre vários tratamentos, para a massa seca das raízes do feijoeiro.

Os contrastes \hat{Y}_1 e \hat{Y}_9 mostram o efeito negativo da adição da gramínea triturada ao adubo solúvel, mas ao adicionar o inóculo (contraste \hat{Y}_2) o desenvolvimento radicular respondeu positivamente. De certo que o inóculo acelerou o processo de degradação dos compostos orgânicos, melhorando o ambiente do solo e incrementando o desenvolvimento das raízes.

Tabela 1.7 – Estimativas dos contrastes ortogonais para a massa seca das raízes da cultura do feijoeiro (média de 5 repetições).

Contrastes		Estimativa	Pr > F
$\hat{Y}_1 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Gram)	0,18	0,0190
$\hat{Y}_2 = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Gram + Inoc)	-0,18	0,0154
$\hat{Y}_3 = (\text{PR})$	vs. (PR + Gram)	-0,01	0,9132
$\hat{Y}_4 = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	0,14	0,0600
$\hat{Y}_5 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Est)	0,30	0,0001
$\hat{Y}_6 = (\text{NPK} + \text{Est})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	0,10	0,1678
$\hat{Y}_7 = (\text{PR})$	vs. (PR + Est)	0,03	0,7030
$\hat{Y}_8 = (\text{PR} + \text{Est})$	vs. (PR + Est + Inoc)	-0,06	0,3996
$\hat{Y}_9 = (\text{Aut} + \text{NPK})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	0,17	0,0266
$\hat{Y}_{10} = (\text{Aut} + \text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	-0,03	0,6829
$\hat{Y}_{11} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Est)	0,12	0,1056
$\hat{Y}_{12} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	0,40	0,0001
$\hat{Y}_{13} = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Est)	0,04	0,6241
$\hat{Y}_{14} = (\text{PR} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Est + Inoc)	-0,17	0,0266
$\hat{Y}_{15} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram)	0,10	0,1597
$\hat{Y}_{16} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	0,43	0,0001
$\hat{Y}_{17} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	0,48	0,0001
$\hat{Y}_{18} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	0,63	0,0001
$\hat{Y}_{19} = \text{Tratamentos com Inoc}$	vs. Tratamentos sem Inoc	0,03	0,8454
$\hat{Y}_{20} = \text{Tratamentos com NPK}$	vs. Tratamentos com PR	0,82	0,0001

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 são considerados como contraste significativo.

Valor de estimativa positivo refere-se a 1ª coluna e negativo refere-se a 2ª coluna.

As raízes responderam negativamente a presença do esterco bovino curtido associado ao NPK (contraste \hat{Y}_5). Nos contrastes \hat{Y}_{12} e \hat{Y}_{14} a aplicação da

gramínea teve efeito positivo e negativo respectivamente, quando comparado com o esterco bovino. Ao estar associado ao NPK + inóculo microbiano, a gramínea em detrimento de esterco bovino favoreceu o maior desenvolvimento das raízes, entretanto ao estar associado ao pó de rocha o esterco bovino foi mais eficiente. Esta resposta está relacionada a solubilização dos nutrientes e as interações microbiológicas ocorridas no solo.

Nos contrastes \hat{Y}_{16} e \hat{Y}_{20} verifica-se que a presença do NPK foi mais eficiente do que o pó de rocha, e a autoclavagem do solo prejudicou o desenvolvimento radicular (contrastos \hat{Y}_{17} e \hat{Y}_{18}). Como explica anteriormente, o equilíbrio químico entre os nutrientes na solução do solo influencia no desenvolvimento radicular.

CONCLUSÕES

O inóculo microbiano estimulou o crescimento radicular e a atividade microbiana.

O uso da gramínea triturada foi mais eficiente que o esterco bovino, no estímulo da atividade microbiana.

O NPK foi mais eficiente que o pó de rocha, proporcionando aumento nos rendimentos de massa seca de folhas e raízes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, F. A., NETO, A. E. F., PAULA, M. B., MESQUITA, H. A. E MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-escuro degradado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.35, n.2, p.277-288, fev. 2000.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (eds.) **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576p.

CHAGAS, P.P.R., et al, Efficiency of lime-sulfur in teh control of mite im papaya in conventional and organic(Bokashi-EM) systems.(In Press). Sixth International Conference on Kyusei Nature Farming. October 28-31, 1999. **Proceedings on Kyusei Nature Farming and Effecitve Microorganisms for Agricultural and Enviromental Sustainability**. Pretoria. South Afrúca. Ed. Senannayabe, Y.D.^a; U.R. Sangakkara, APNAN, Thailand.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, primeiro levantamento, outubro 2010** DISPONIVEL EM: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploNPK/arquivos/cbf8301eaaea56db7b9729da294d1e6a..pdf>, ACESSADO EM 01/02/2011

FILHO A. C. e NOGUEIRA M. A. Micorrizas Arbusculares em Plantas Tropicais: Café, Mandioca e Cana-de-açúcar in: **Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental**/editoras Adriana Parada Dias da Silveira; Sueli dos Santos Freitas. Campinas: InstitutoAgrônômico, 2007.p 39-56

FONSECA, A. C. O. **Viabilidade de substratos orgânicos e NPK na cultura do amendoineiro (Arachis hypogaea L.) em um Latossolo do Recôncavo Baiano**. 2005. P 78.Dissertação (Mestrado em Ciencias Agrarias) Escola de Agronomia – Universidade Federal da Bahia. – Cruz das Almas, Ba, 2005

FUSCALDIL, K. C.; PRADO, G. R.; Análise econômica da cultura do feijão. **Revista de Política Agrícola** Ano XIV - Nº 1 - Jan./Fev./Mar. 2005

PEÑA, M.L.P.; MARQUES, R.; JAHNEL, M. C. e ANJOS, A. Respiração microbiana como indicador da qualidade do solo em ecossistema florestal **Floresta**, Curitiba, PR, v.35, n. 1, jan./abr. 2005.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**, São Paulo, Nobel, 2002.

RIBEIRO, C. A., GUIMARÃES, P.T.G. E VICTOR, H. V. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais – **Recomenções para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

RODRIGUES, E. F. G. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes in: **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo** – Ecossistemas tropicais e subtropicais. Ed Santos, G. A. e Camargo, F. A. O. Porto Alegre. Gênese .1999. P 227 – 263

SALA, V. M. R., SILVEIRA, A. P. D. e CARDOSO, E. J. B N. Bactérias Diazotróficas Associadas a Plantas Não-leguminosas in: **Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental**/editoras Adriana Parada Dias da Silveira; Sueli dos Santos Freitas. Campinas: InstitutoAgrônomo, 2007.p 97-115

SILVA, E. E., AZEVEDO, P. H. S. E DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). **Comunicado Técnico 99 – EMBRAPA**. Seropédica – RJ, 2007

CAPÍTULO 2

**FISIOLOGIA DO FEIJOEIRO SUBMETIDO A INTERAÇÕES ENTRE INÓCULO
MICROBIANO E ADUBAÇÃO.**

FISIOLOGIA DO FEIJOEIRO SUBMETIDO A INTERAÇÕES ENTRE INÓCULO MICROBIANO E ADUBAÇÃO.

Autor: Eng. Agr. Joctã Lima do Couto.

Orientador: Prof. Dr. Anacleto Ranulfo dos Santos.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da adição de inóculo microbiano ao solo sobre diversos aspectos fisiológicos cultura do feijoeiro. A pesquisa foi realizada na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, situada no Município de Cruz das Almas – Bahia, no período de novembro de 2009 a abril de 2010 utilizando o feijoeiro da variedade Carioca. O cultivo foi conduzido em casa de vegetação, com delineado em blocos casualizados com 5 repetições. Nos tratamentos utilizou-se NPK, pó de rocha, capim napier seco e triturado, esterco de gado curtido e seco e o inóculo microbiano da Fundação Mokiti Okada, em solo natural e solo autoclavado. O arranjo das interações totalizou 16 tratamentos e as plantas de feijão foram cultivadas em vasos de 5 dm³ e o feijão foi semeado no 16º dia após a inoculação. Durante o desenvolvimento das plantas foram mensurados a clorofila, a fotossíntese, a condutância estomática e a área foliar. Aos 33 dias após o plantio, as plantas foram colhidas, separadas em folhas, hastes e raízes. Todo material vegetal foi desidratado em estufa a 65 °C com circulação de ar forçado. O material seco foi pesado e digerido com extrato sulfúrico para extração e determinação do nitrogênio total. Os resultados encontrados e calculados foram submetidos a análise de variância e ao teste de contrastes ortogonais. O inóculo microbiano limitou no rendimento de área foliar; os melhores resultados para área foliar, fotossíntese e condutância estomática foram obtidos nas interações gramínea triturada + NPK e esterco bovino + pó de rocha; a autoclavagem limitou os rendimentos da área foliar, da fotossíntese e da condutância estomática; o NPK foi mais eficiente que o pó de rocha, proporcionando aumento nos rendimentos da área foliar, da fotossíntese e da condutância estomática; o método indireto de medição da clorofila possui alta correlação com o teor de N na folha e com a fotossíntese.

Palavras chave: desenvolvimento vegetativo, adubação do feijoeiro, microrganismos do solo.

PHYSIOLOGY OF BEAN SUBMITTED INTERACTIONS BETWEEN INOCULUM MICROBIAL AND FERTILIZER.

Author: Eng. Agr. Joctã Lima do Couto

Adviser: Prof. Dr. Anacleto Ranulfo dos Santos

ABSTRACT: The purpose of this study was to evaluate the effects of adding microbial inoculum to the soil on various physiological aspects bean crop. The research was conducted at the Federal University of Bahia Recôncavo in the Municipality of Cruz das Almas - Bahia, from November 2009 to April 2010 using the bean variety Carioca. The cultivation was conducted in a greenhouse with a randomized blocks design with five replications. Was used in treatments NPK, rock powder, dried and crushed napier grass, cattle manure, dry and leathery microbial inoculum Foundation Mokiti Okada, in natural soil and sterilized soil. The arrangement of interactions total of 16 treatments and bean plants were grown in pots of 5 dm³ and beans were sown on the 16th day after inoculation. During the development of the plants were measured chlorophyll, photosynthesis, stomatal conductance and leaf area. At 33 days after planting, the plants were harvested, separated into leaves, stems and roots. All plant material was dried in an oven at 65 °C with forced air circulation. The dry materia I was weighed and digested with sulfuric acid to extract extraction and determination of total nitrogen. The results were calculated and submitted to analysis of variance test and orthogonal contrasts. The microbial inoculum was limited in the yield of leaf area, the best results for leaf area, photosynthesis and stomatal conductance were obtained in the grassy ground interactions and NPK + manure + rock dust; autoclaving lowered profits leaf area, photosynthesis and stomatal conductance; NPK was more efficient than the rock powder, providing increased yields of leaf area, photosynthesis and stomatal conductance, the indirect method of measurement has a strong correlation with chlorophyll content in the leaf and photosynthesis.

Key words: plant growth, fertilization of bean, soil microorganisms.

INTRODUÇÃO

O feijão é um dos alimentos básicos de vários povos, principalmente o brasileiro, constituindo a sua principal fonte de proteína vegetal. Seu teor protéico pode chegar a 33% com valor energético de 341 cal/100 g (POMPEU, 1987).

Na maioria das regiões produtoras predomina a exploração do feijoeiro por pequenos produtores, com praticas não mecanizadas e uso reduzido de insumos, obtendo-se baixas produtividades.

Na Bahia as principais zonas de produção estão no semi-árido e zona de tabuleiros onde destacam municípios de Irecê, Ribeira do Pombal e Barreiras como centros de comercialização (SEAGRI, 2008).

O inóculo microbiano é um produto composto de materiais orgânicos, submetidos a processos fermentativos controlados. A fermentação predominante é do tipo láctico, porém, ocorre simultaneamente em menor intensidade os tipos acéticos, alcoólicos, propiônicos, butílicos, dentre outros. Umidade, temperatura, tipo e estado das matérias prima e as proporções de carbono e nitrogênio são os fatores que mais interferem para se obter uma boa fermentação dos materiais vegetais, e, a qualidade final do inóculo (CHAGAS et al. 1999).

O retorno de material orgânico ao solo é essencial, e sua aplicação periódica se torna indispensável. Seu efeito principal é sobre a bioestrutura do solo. Para isso, a incorporação superficial de palha ou de qualquer material celulósico é adequada. O material orgânico contribui para a sanidade vegetal, por diversificar a vida do solo, produzir substâncias fungistáticas como fenóis e permitir a produção de antibióticos por bactérias. Porém, o efeito do material orgânico depende do seu manejo adequado (PRIMAVESI, 2002).

Os estômatos são estruturas extremamente importantes para a fisiologia das plantas, estando diretamente ligados ao controle e regulação de dois processos vitais: fotossíntese e transpiração. A cutícula que cobre a folha é quase impermeável a água, a maioria dos resultados de transpiração foliar da difusão de vapor de água ocorrem através do poro estomático (TAIZ e ZEIGER, 2002).

O movimento de abertura e de fechamento estomático depende das particularidades fisiológicas das células guardas e dos fatores ambientais. O controle estomático serve para maximizar a fotossíntese, enquanto minimizam a

transpiração. Este controle estar sob efeito biológico e, é a maneira fundamental da planta controlar as trocas gasosas através das superfícies foliares. Este controle é exercido por um par de células epidérmicas especializadas, as células guardas (VIEIRA et al, 2010).

Fotossíntese é a construção ou síntese de compostos orgânicos pela luz. Esta propriedade somente é atribuída aos seres autotróficos, capazes de capturar, transformar e armazenar a energia radiante eletromagnética gerada pelo sol, em compostos orgânicos com ligações químicas ricas em energia. Os principais fatores que influenciam na eficiência da fotossíntese são: a luz, concentração de CO₂ e O₂, a temperatura, a água, fatores internos da planta, fertilidade do solo e a ação de pesticidas (VIEIRA et al, 2010).

Nos pigmentos que participam da fotossíntese incluem as clorofilas, os carotenóides e as ficobilinas. Sendo que a clorofila é o principal pigmento usado na fotossíntese. Um pigmento pode ser definido como qualquer substância que absorva luz. Diferentes pigmentos não absorvem diferentes comprimentos de onda nas mesmas intensidades. As plantas são na maioria verdes. Isto porque suas folhas refletem a maior parte da luz verde incidente. Se há reflexão, a maior parte da luz verde não está sendo absorvida ou usada. A clorofila, principal pigmento vegetal utilizado na fotossíntese, absorve luz primariamente nas regiões azul, violeta e vermelha do espectro. A clorofila e outros pigmentos fotossintéticos estão localizados dentro das membranas dos tilacóides, que são finos “sacos” achatados presentes no interior dos cloroplastos (TAIZ e ZEIGER, 2002).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos que a adição de inóculo microbiano ao solo sobre os aspectos fisiológicos das plantas de feijoeiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

O cultivo experimental do feijoeiro da variedade Carioca foi conduzido em casa de vegetação no campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, situada no Município de Cruz das Almas – Bahia, no período de novembro de 2009 a abril de 2010 utilizando o.

O experimental foi delineado em blocos casualizados, com 16 tratamentos e 5 repetições. Na composição dos tratamentos utilizou-se NPK, pó de rocha, capim napier seco e triturado, esterco de gado curtido e seco e o inóculo microbiano da Fundação Mokiti Okada, em solo natural e solo autoclavado.

Tratamentos testados:

- 1 - Testemunha absoluta – solo natural
- 2 - Testemunha relativa – Calagem.
- 3 - Calagem + NPK.
- 4 - Calagem + NPK + Gramínea triturada.
- 5 - Calagem + NPK + (Gramínea triturada + Inóculo microbiano).
- 6 - Calagem + NPK + Esterco bovino curtido.
- 7 - Calagem + NPK + (Esterco bovino curtido + Inóculo microbiano).
- 8 - Calagem + Pó de rocha.
- 9 - Calagem + Pó de rocha + Gramínea triturada.
- 10 - Calagem + Pó de rocha + (Gramínea triturada + Inóculo microbiano).
- 11 - Calagem + Pó de rocha + Esterco bovino curtido.
- 12 - Calagem + Pó de rocha + (Esterco bovino curtido + Inóculo microbiano).
- 13 - (Calagem) Autoclavado
- 14 - (Calagem) Autoclavado + NPK.
- 15 - (Calagem) Autoclavado + NPK + Gramínea triturada.
- 16 - (Calagem) Autoclavado + NPK + (Gramínea triturada + Inóculo microbiano).

As plantas de feijão foram cultivadas em vasos de 5 dm³, cuja altura era de 0,20 m, a base 0,15 m de diâmetro e a abertura superior 0,20 m de diâmetro, submetidos a regas diárias mantendo o solo próximo da capacidade de campo.

No interior da casa de vegetação foram registradas temperaturas mínimas de 20° C e máximas de 34° C, e uma umidade relativa do ar média de 80 %.

Para o experimento foi coletado um Latossolo Amarelo de uma área de pastagem, e suas características químicas e granulométricas estão na tabela 2.1.

Tabela – 2.1 Características químicas e granulométricas do Latossolo Amarelo.

	mg dm ⁻³	Cmol _c dm ⁻³								%			
pH	P	K	Ca	Mg	Al	Na	H+Al	S	CTC	V	Argila	Areia	Silte
5,0	2,41	0,17	0,30	0,82	0,30	0,06	2,25	1,35	3,6	38	25,2	69,4	5,4

Com base nos resultados das análises químicas, foi feita calagem, elevando a saturação por base para 50%, utilizando-se 3 g de calcário dolomítico por vaso. As fontes de NPK utilizadas foram: cloreto de potássio (0,17 g vaso⁻¹), superfosfato simples (1,53 g vaso⁻¹) e uréia (0,34 g vaso⁻¹), nas dosagens recomendadas no manual de adubação de Minas Gerais (RIBEIRO et al, 1999). O pó de rocha originário da região de Ipirá – BA, foi utilizado na proporção de 2.500 kg ha⁻¹ (6,25 g vaso⁻¹), esta quantidade de pó de rocha equivale a 0,215 g vaso⁻¹ de P₂O₅ solúveis em ácido clorídrico, enquanto que a quantidade de superfosfato simples utilizado disponibiliza 0,221 g vaso⁻¹ de P₂O₅ solúveis em água. Na tabela 2 encontra-se a descrição química do pó de rocha.

Tabela – 2.2 Características químicas do pó de rocha de Ipirá.

g kg ⁻¹									mg dm ⁻³
P	K	Ca	Mg	Al	Na	Fe	SiO ₂		N
15	24	42	11	77	24	45	544		84,7

Os materiais orgânicos foram ministrados na proporção de 10.000 kg ha⁻¹ de esterco bovino curtido e seco (25 g vaso⁻¹) que equivale a 0,056 g vaso⁻¹ de P₂O₅ e 20.000 kg ha⁻¹ de capim napier triturado e seco (50 g vaso⁻¹) que equivale a 0,054 g vaso⁻¹ de P₂O₅.

O inóculo microbiano foi produzido pelo Centro de Pesquisa da Fundação Mokiti Okada, sendo composto de materiais orgânicos, submetidos a processos fermentativos controlados. A fermentação predominante é do tipo láctico, porém, ocorre simultaneamente em menor intensidade os tipos acéticos, alcoólicos,

propionicos, butílicos, dentre outros, e foi utilizado na proporção de 1.000 kg ha⁻¹ (2,5 g vaso⁻¹).

Após 45 de incubação com calcário dolomítico, o solo úmido dos respectivos tratamentos foram autoclavados a temperatura de 120 °C, sobre pressão de 1 atm durante 30 minutos, e permaneceram vedados até o momento da inoculação. O inóculo microbiano foi previamente misturado ao material orgânico para em seguida ser adicionado ao solo.

No 16º dia após a inoculação o feijão foi semeado nos vasos e após a germinação foram conduzidas somente duas plantas.

A clorofila foi medida aos 12, 17, 26 e 33 dias após o plantio, utilizando o clorofilômetro modelo CFL 1030 da marca Falker, cuja leitura é dada numa grandeza adimensional denominada clorofilog.

A fotossíntese e a condutância estomática foram medidas aos 20 após o plantio, utilizando o equipamento Lcpro+ Advanced Photosynthesis System da ADC BioScientific Ltd.

Aos 33 dias após o plantio, as plantas foram colhidas, separadas em folhas, hastes e raízes. Uma amostra de duas folhas de cada unidade experimental foi medida a área foliar com o equipamento AM300 Portable Leaf TTP Meter da ADC BioScientific Ltd, para posteriormente com posse da massa seca estimar a área total. Todo material vegetal foi desidratado em estufa a 65 °C com circulação de ar forçado.

O material seco foi pesado em balança analítica e digerido com extrato sulfúrico, para extração do nitrogênio com posterior determinação microdestilador semi-Kjeldahl, seguindo metodologia descrita por Malavolta et al (1997).

Os resultados encontrados e calculados foram submetidos a análise de variância e ao teste de contrastes ortogonais e regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1 – Área foliar

Na tabela 2.3 estão os dados de área foliar estimada das plantas de feijoeiro em cm² e os valores em percentual.

O tratamento NPK + gramínea (Trat 4) proporcionou a maior área foliar, valor de 602,4 cm², caracterizando aumento de 159 % em relação a testemunha relativa (Trat 2). Considerando que é na folha onde ocorre a fotossíntese, logo, quanto maior a área destas folhas nas plantas, maior serão as taxas fotossintéticas e por conseqüência, maior produtividade para a cultura.

Tabela 2.3 – Valores médios da área foliar estimadas da cultura do feijoeiro e o valor percentual (média de 5 repetições).

Tratamentos	Área Foliar	
	cm ²	%
1 Ta	279,0	120
2 Tr	232,7	100
3 NPK	345,1	148
4 NPK + Gram	602,4	259
5 NPK + Gram + Inoc	445,6	191
6 NPK + Est	474,8	204
7 NPK + Est + Inoc	454,6	195
8 PR	271,1	117
9 PR + Gram	417,4	179
10 PR + Gram + Inoc	437,5	188
11 PR + Est	588,9	253
12 PR + Est + Inoc	486,2	209
13 Aut	310,5	133
14 Aut + NPK	457,4	197
15 Aut + NPK + Gram	397,9	171
16 Aut + NPK + Gram + Inoc	367,3	158
CV	22,3%	-
Pr > F	0,0001	-

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 significam que na variável estudada pelo menos um tratamento é superior aos demais.

Na tabela 2.4 estão dispostos o estudo de 20 contrastes ortogonais entre vários tratamentos, para a área foliar das plantas de feijão.

Nos contrastes \hat{Y}_1 e \hat{Y}_3 observamos o efeito positivo da adição da gramínea, aumentando a quantidade de área foliar, seja associado ao NPK ou ao pó de rocha. De forma idêntica a adição do esterco bovino incrementou a área foliar (contrastos \hat{Y}_5 e \hat{Y}_7). De forma generalizada a adição da matéria orgânica ao solo melhorou suas condições de fertilidade, agindo sobre a química, física e biologia do solo, aumentando o desenvolvimento da área foliar.

No entanto ao compararmos os dois fertilizantes orgânicos na presença do NPK a aplicação de gramínea foi mais eficiente (contraste \hat{Y}_{11}), e na presença do pó de rocha o esterco bovino foi melhor (contraste \hat{Y}_{13}). Em outras palavras as melhores interações se deram do fertilizante mais solúvel com o material orgânico cru e do fertilizante menos solúvel com o material orgânico digerido, caracterizando um equilíbrio de solubilidade dos nutrientes nas duas interações acima citadas.

A presença do NPK foi mais eficiente que o pó de rocha (contrastos \hat{Y}_{15} e \hat{Y}_{20}) no aumento da área foliar do feijoeiro, possivelmente pela maior disponibilidade de elementos essenciais na solução do solo. No entanto a adição do inóculo microbiano, seja associado a gramínea + NPK ou de forma geral, reduziu a área foliar. Provavelmente atividade microbiana reduziu a absorção de alguns nutrientes devido a imobilização e sua lenta disponibilização. Moreira (2004) trabalhando com feijão comum concluiu que área foliar foi menor nos tratamentos que não receberam adubação fosfatada e Monteiro (2009) obteve respostas da área foliar ao estudar níveis de nitrogênio e lâminas de irrigação.

A área foliar de uma cultura interfere na interceptação da radiação solar e na troca de água e energia entre a folha e o ar adjacente à atmosfera. A folha é o principal órgão das plantas envolvido na fotossíntese e responsável pelas trocas gasosas entre a planta e o ambiente (PEREIRA et al, 1997). O processo fotossintético depende da interceptação da radiação solar e sua conversão em energia química, sendo variável-chave na compreensão da dinâmica da vegetação em ecossistemas terrestres, como a competição inter e intra-específica entre plantas, a retenção de carbono e a conservação do solo e ser um componente-chave dos ciclos biogeoquímicos em ecossistemas (BREDA, 2003).

O processo da autoclavagem teve efeito deletério na área foliar das plantas de feijoeiro.

Tabela 2.4 – Estimativas dos contrastes ortogonais área foliar estimada da cultura do feijoeiro (média de 5 repetições).

Contrastes		Estimativa	Pr > F
$\hat{Y}_1 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Gram)	-257,3	0,0001
$\hat{Y}_2 = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Gram + Inoc)	156,8	0,0088
$\hat{Y}_3 = (\text{PR})$	vs. (PR + Gram)	-146,3	0,0142
$\hat{Y}_4 = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	-20,1	0,7302
$\hat{Y}_5 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Est)	-129,7	0,0289
$\hat{Y}_6 = (\text{NPK} + \text{Est})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	20,1	0,7296
$\hat{Y}_7 = (\text{PR})$	vs. (PR + Est)	-317,8	0,0001
$\hat{Y}_8 = (\text{PR} + \text{Est})$	vs. (PR + Est + Inoc)	102,7	0,0814
$\hat{Y}_9 = (\text{Aut} + \text{NPK})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	59,5	0,3086
$\hat{Y}_{10} = (\text{Aut} + \text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	30,5	0,6006
$\hat{Y}_{11} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Est)	127,6	0,0315
$\hat{Y}_{12} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	-9,1	0,8763
$\hat{Y}_{13} = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Est)	-171,5	0,0044
$\hat{Y}_{14} = (\text{PR} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Est + Inoc)	-48,7	0,4043
$\hat{Y}_{15} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram)	185,0	0,0022
$\hat{Y}_{16} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	8,1	0,8901
$\hat{Y}_{17} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	204,5	0,0008
$\hat{Y}_{18} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	78,2	0,1823
$\hat{Y}_{19} = \text{Tratamentos com Inoc}$	vs. Tratamentos sem Inoc	-290,1	0,0288
$\hat{Y}_{20} = \text{Tratamentos com NPK}$	vs. Tratamentos com PR	267,0	0,0100

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 são considerados como contraste significativo.

Valor de estimativa positivo refere-se a 1ª coluna e negativo refere-se a 2ª coluna.

2 – Fotossíntese líquida e condutância estomática

Na tabela 2.5 estão os dados de fotossíntese líquida e condutância estomática das folhas das plantas de feijoeiro e os valores em percentuais.

Para o parâmetro fotossíntese líquida não foram observadas grandes diferenças entre os tratamentos. Os resultados mostram que a presença de NPK + gramínea (Trat 4) obteve o maior valor nominal, ou seja, $10,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, significando apenas 1 % acima do valor da testemunha relativa. Siebeneichler et al (1998), trabalhando com feijoeiros em solução nutritiva encontraram para as plantas livre de qualquer estresse valores de fotossíntese líquida entre 8,1 a 10,5. A variação da taxa fotossintética está relacionada a fatores ambientais, tais como disponibilidade de água, luz, CO_2 , temperatura e oferta de nutrientes na solução do solo. As deficiências de nitrogênio, ferro, fósforo, manganês e cloro, afetam negativamente a eficiência dos processos fotossintéticos, em plantas sob

condições de estresse ou deficiência nutricional (Vieira et al, 2010). Tais condições de estresse não foram observadas nas plantas de feijoeiro deste experimento, apesar da variedade de tratamentos utilizados.

Para o parâmetro condutância estomática o maior valor observado foi no tratamento com pó de rocha + esterco bovino (Trat 11), obtendo valor nominal de $0,353 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo este cerca de 8 % maior que a testemunha relativa. Os demais tratamentos tiveram valores iguais ou menores que a testemunha relativa. Siebeneichler et al (1998), trabalhando com feijoeiros em solução nutritiva encontrou para as plantas livre de qualquer estresse valores de condutância estomática entre $0,261$ a $0,315 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Tabela 2.5 – Valores médios da fotossíntese líquida e condutância estomática das folhas da cultura do feijoeiro e os valores percentuais (média de 5 repetições).

Tratamentos	Fotossíntese líquida		Condutância estomática		
	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	%	$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	%	
1 Ta	9,1	89	0,288	89	
2 Tr	10,2	100	0,325	100	
3 NPK	9,5	93	0,223	68	
4 NPK + Gram	10,3	101	0,302	93	
5 NPK + Gram + Inoc	10,2	100	0,325	100	
6 NPK + Est	9,6	94	0,203	62	
7 NPK + Est + Inoc	8,3	81	0,143	44	
8 PR	9,1	89	0,170	52	
9 PR + Gram	9,0	88	0,193	59	
10 PR + Gram + Inoc	7,8	76	0,228	70	
11 PR + Est	10,1	99	0,353	108	
12 PR + Est + Inoc	9,4	92	0,223	68	
13 Aut	8,5	84	0,190	58	
14 Aut + NPK	9,6	94	0,263	81	
15 Aut + NPK + Gram	7,8	76	0,237	73	
16 Aut + NPK + Gram + Inoc	9,2	90	0,273	84	
	CV	13,8 %	-	23,8 %	-
	PR > F	0,0258	-	0,0001	-

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; NPK: adubo solúvel; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 significam que na variável estudada pelo menos um tratamento é superior aos demais.

Na tabela 2.6 estão dispostos o estudo de 20 contrastes ortogonais entre vários tratamentos, para a fotossíntese líquida das folhas das plantas de feijoeiro.

No contraste \hat{Y}_9 a adição de gramínea ao solo autoclavado contendo NPK reduziu a eficiência da fotossíntese, no entanto a gramínea tritura foi mais

eficiente que o esterco bovino, quando associado ao pó de rocha + inóculo microbiano (contraste \hat{Y}_{12}).

Comparativamente, o NPK favorece a fotossíntese mais do que o pó de rocha (contraste \hat{Y}_{16} e \hat{Y}_{20}). E as plantas de feijoeiro mostraram menor eficiência fotossintética quando cultivadas em solo autoclavado. Isto se deve a esterilização do solo, que sem os microrganismos nativos teve alteração no processo de oxidação do material orgânico, produzindo substâncias indesejáveis, que inibem o crescimento do sistema radicular. Outra alteração devido a ação térmica da autoclavagem foi o equilíbrio químico, que disponibilizou potássio e precipitou o cálcio, gerando um quadro de estresse, que resultou na limitação da eficiência da fotossíntese.

O inóculo microbiano não teve influencia direta sobre o processo fotossintético.

Tabela 2.6 – Estimativas dos contrastes ortogonais fotossíntese líquida das folhas da cultura do feijoeiro (média de 5 repetições).

Contrastes		Estimativa	Pr > F
$\hat{Y}_1 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Gram)	-0,83	0,30780
$\hat{Y}_2 = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Gram + Inoc)	0,07	0,93500
$\hat{Y}_3 = (\text{PR})$	vs. (PR + Gram)	0,07	0,92710
$\hat{Y}_4 = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	1,19	0,14380
$\hat{Y}_5 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Est)	-0,08	0,91920
$\hat{Y}_6 = (\text{NPK} + \text{Est})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	1,27	0,11980
$\hat{Y}_7 = (\text{PR})$	vs. (PR + Est)	-1,07	0,19040
$\hat{Y}_8 = (\text{PR} + \text{Est})$	vs. (PR + Est + Inoc)	0,74	0,35910
$\hat{Y}_9 = (\text{Aut} + \text{NPK})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	1,80	0,02880
$\hat{Y}_{10} = (\text{Aut} + \text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	-1,34	0,10110
$\hat{Y}_{11} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Est)	0,75	0,35780
$\hat{Y}_{12} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	1,95	0,01830
$\hat{Y}_{13} = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Est)	-1,14	0,16180
$\hat{Y}_{14} = (\text{PR} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Est + Inoc)	-1,59	0,05300
$\hat{Y}_{15} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram)	1,33	0,10260
$\hat{Y}_{16} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	2,46	0,00330
$\hat{Y}_{17} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	2,52	0,00270
$\hat{Y}_{18} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	1,11	0,17300
$\hat{Y}_{19} = \text{Tratamentos com Inoc}$	vs. Tratamentos sem Inoc	-1,93	0,28740
$\hat{Y}_{20} = \text{Tratamentos com NPK}$	vs. Tratamentos com PR	4,23	0,00350

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 são considerados como contraste significativo.

Valor de estimativa positivo refere-se a 1ª coluna e negativo refere-se a 2ª coluna.

A figura 2.1 mostra a correlação positiva (0,93) entre a medição indireta da clorofila total e a fotossíntese líquida, vez que ambos são parâmetros de importância no desenvolvimento das culturas e podem servir de parâmetro de avaliação precoce, antes que perdas de produtividade aconteçam.

Dois pontos de relevância a serem considerados são o custo e praticidade da medição do valor clorofilog, que é realizado com aparelho portátil de fácil manuseio, e a medição da fotossíntese líquida, cujo aparelho tem custo elevado, é sensível e de alta precisão.

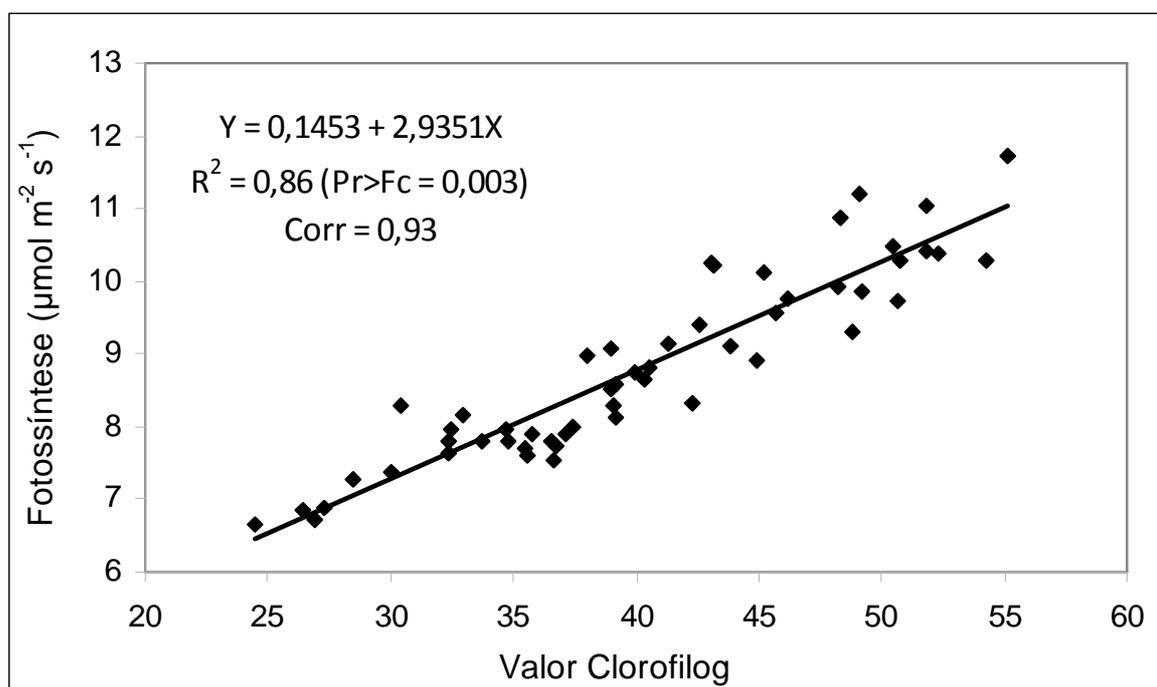


Figura 2.1 – Regressão entre o valor clorofilog e a fotossíntese líquida das folhas das plantas de feijão, nos diversos tratamentos.

Na tabela 2.7 estão dispostos o estudo de 20 contrastes ortogonais entre vários tratamentos, para a condutância estomática das folhas das plantas de feijoeiro.

No contraste \hat{Y}_1 a adição de gramínea triturada ao solo contendo NPK incrementou a condutância estomática. O mesmo efeito foi obtido com a adição de esterco bovino ao solo com pó de rocha (contraste \hat{Y}_7).

A taxa de condutância estomática foi afetada negativamente quando as plantas estavam na presença do pó de rocha + esterco bovino e inóculo microbiano (contraste \hat{Y}_8).

Ao compararmos os efeitos da gramínea com o do esterco bovino, o primeiro foi mais eficiente quando ao solo foi adicionado NPK com ou sem inóculo microbiano, e o segundo quando ao solo foi adicionado o pó de rocha (contraste \hat{Y}_{11} , \hat{Y}_{12} e \hat{Y}_{13}).

Nos contrastes \hat{Y}_{15} , \hat{Y}_{16} e \hat{Y}_{20} a presença do NPK é mais eficiente que o pó de rocha, conseguindo elevar as taxas de condutância estomática.

Siebeneichler et al (1998), submetendo plantas de feijão ao estresse térmico obtiveram redução na condutância estomática, e que Oliveira et al (2005) submetendo plantas de feijão a diferentes lamina de irrigação obtiveram menores valores de condutância estomática nos tratamentos com maior estresse hídrico.

Ferri (1986) afirma que vários fatores ambientais afetam a abertura e o fechamento dos estômatos, sendo a perda de água o principal fator. Quando a turgescência de uma folha cai abaixo de um certo ponto crítico, que varia de acordo com as diferentes espécies, a abertura estomática torna-se menor. Além da perda de água existem outros fatores como a concentração de dióxido de carbono, luz e temperatura. Na maioria das espécies, um aumento na concentração de gás carbônico nos espaços intercelulares provoca o fechamento dos estômatos. Assim, um aumento na temperatura resulta num incremento da respiração e num aumento concomitante na concentração de dióxido de carbono intercelular, que pode constituir a causa do fechamento do estômato.

Melo et al (2009) trabalhando com bananeiras concluíram que sob o excesso de nitrogênio e ausência de potássio, a condutância estomática é reduzida, causando reflexos negativos durante o processo fotossintético. Em situações de maior disponibilidade de potássio, as plantas necessitam de menores quantidades de nitrogênio para manutenção da eficiência no uso da água, como consequência do melhor ajuste estomático.

Nas literaturas há poucas citações que correlacione a condutância estomática à nutrição mineral. Somente fazem referência a importância do potássio no turgor das células guardas, no entanto, como nutrição desequilibrada gera transtornos fisiológicos, eles podem acarretar no comprometimento da eficiência da condutância estomática.

Tabela 2.7 – Estimativas dos contrastes ortogonais condutância estomática das folhas da cultura do feijoeiro (média de 5 repetições).

Contrastes		Estimativa	Pr > F
$\hat{Y}_1 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Gram)	-0,080	0,0344
$\hat{Y}_2 = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Gram + Inoc)	-0,024	0,5190
$\hat{Y}_3 = (\text{PR})$	vs. (PR + Gram)	-0,022	0,5544
$\hat{Y}_4 = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	-0,036	0,3344
$\hat{Y}_5 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Est)	0,020	0,5908
$\hat{Y}_6 = (\text{NPK} + \text{Est})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	0,060	0,1099
$\hat{Y}_7 = (\text{PR})$	vs. (PR + Est)	-0,182	0,0001
$\hat{Y}_8 = (\text{PR} + \text{Est})$	vs. (PR + Est + Inoc)	0,130	0,0008
$\hat{Y}_9 = (\text{Aut} + \text{NPK})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	0,024	0,5190
$\hat{Y}_{10} = (\text{Aut} + \text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	-0,034	0,3618
$\hat{Y}_{11} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Est)	0,100	0,0088
$\hat{Y}_{12} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	0,184	0,0001
$\hat{Y}_{13} = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Est)	-0,160	0,0001
$\hat{Y}_{14} = (\text{PR} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Est + Inoc)	0,006	0,8717
$\hat{Y}_{15} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram)	0,110	0,0042
$\hat{Y}_{16} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	0,098	0,0102
$\hat{Y}_{17} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	0,064	0,0886
$\hat{Y}_{18} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	0,054	0,1495
$\hat{Y}_{19} = \text{Tratamentos com Inoc}$	vs. Tratamentos sem Inoc	-0,096	0,2504
$\hat{Y}_{20} = \text{Tratamentos com NPK}$	vs. Tratamentos com PR	0,260	0,0001

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 são considerados como contraste significativo.

Valor de estimativa positivo refere-se a 1ª coluna e negativo refere-se a 2ª coluna.

Na tabela 2.8 estão dispostos o estudo de 20 contrastes ortogonais entre vários tratamentos, para o valor clorofilog das folhas das plantas de feijoeiro.

No contraste \hat{Y}_1 , \hat{Y}_3 e \hat{Y}_9 a adição de gramínea ao solo com NPK ou pó de rocha em solo natural, ou em solo autoclavado com NPK reduziu os valores clorofilog. No entanto a gramínea triturada foi mais eficiente que o esterco bovino quando associados ao pó de rocha, aumentando os valores clorofilog (contraste \hat{Y}_{13}).

O inóculo microbiano teve efeito negativo nos valores clorofilog, quando adicionado ao NPK+ esterco bovino (contraste \hat{Y}_6). Resultados semelhantes foram encontrados por Sant'Ana et al (2010), que trabalhando com feijoeiro a campo, constataram que resíduos gramíneas propiciaram maior imobilização e menor disponibilidade do nutriente, pois parte do N, foi presumivelmente consumida pela população microbiana do solo, durante o processo de decomposição da palhada, o que reduziu os teores de nitrogênio e os valores indiretos de clorofila (Spad).

Tabela 2.8 – Estimativas dos contrastes ortogonais do valor clorofilog das folhas da cultura do feijoeiro (média de 5 repetições).

Contrastes		Estimativa	Pr > F
$\hat{Y}_1 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Gram)	9,22	0,0007
$\hat{Y}_2 = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Gram + Inoc)	0,56	0,8283
$\hat{Y}_3 = (\text{PR})$	vs. (PR + Gram)	13,76	0,0001
$\hat{Y}_4 = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	-2,10	0,4171
$\hat{Y}_5 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Est)	4,56	0,0809
$\hat{Y}_6 = (\text{NPK} + \text{Est})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	6,70	0,0114
$\hat{Y}_7 = (\text{PR})$	vs. (PR + Est)	3,92	0,1323
$\hat{Y}_8 = (\text{PR} + \text{Est})$	vs. (PR + Est + Inoc)	4,06	0,1193
$\hat{Y}_9 = (\text{Aut} + \text{NPK})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	9,54	0,0004
$\hat{Y}_{10} = (\text{Aut} + \text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	0,98	0,7044
$\hat{Y}_{11} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Est)	-4,66	0,0746
$\hat{Y}_{12} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	1,48	0,5669
$\hat{Y}_{13} = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Est)	-9,84	0,0003
$\hat{Y}_{14} = (\text{PR} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Est + Inoc)	-3,68	0,1573
$\hat{Y}_{15} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram)	4,44	0,0891
$\hat{Y}_{16} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	1,78	0,4913
$\hat{Y}_{17} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	-2,00	0,4396
$\hat{Y}_{18} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	-1,58	0,5411
$\hat{Y}_{19} = \text{Tratamentos com Inoc}$	vs. Tratamentos sem Inoc	-10,20	0,0808
$\hat{Y}_{20} = \text{Tratamentos com NPK}$	vs. Tratamentos com PR	6,12	0,1742

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 são considerados como contraste significativo.

Valor de estimativa positivo refere-se a 1ª coluna e negativo refere-se a 2ª coluna.

A figura 2.2 mostra uma correlação positiva (0,95) entre os teores de nitrogênio nas folhas e a medição indireta da clorofila total, sendo ambos os parâmetros importantes no desenvolvimento das culturas.

O nitrogênio é um nutriente fundamental no desenvolvimento vegetal e sua disponibilidade no solo pode proporcionar de boas produtividades para a maioria das culturas no nosso ambiente tropical.

Sant'Ana et al (2010) trabalhando com feijoeiros concluíram que a leitura do clorofilômetro (SPAD) e o teor de nitrogênio nas folhas correlacionaram-se, positivamente, com a produtividade de grãos, e que as estimativas do clorofilômetro podem substituir a determinação do teor de nitrogênio nas folhas, para diagnóstico do nível deste nutriente no feijoeiro.

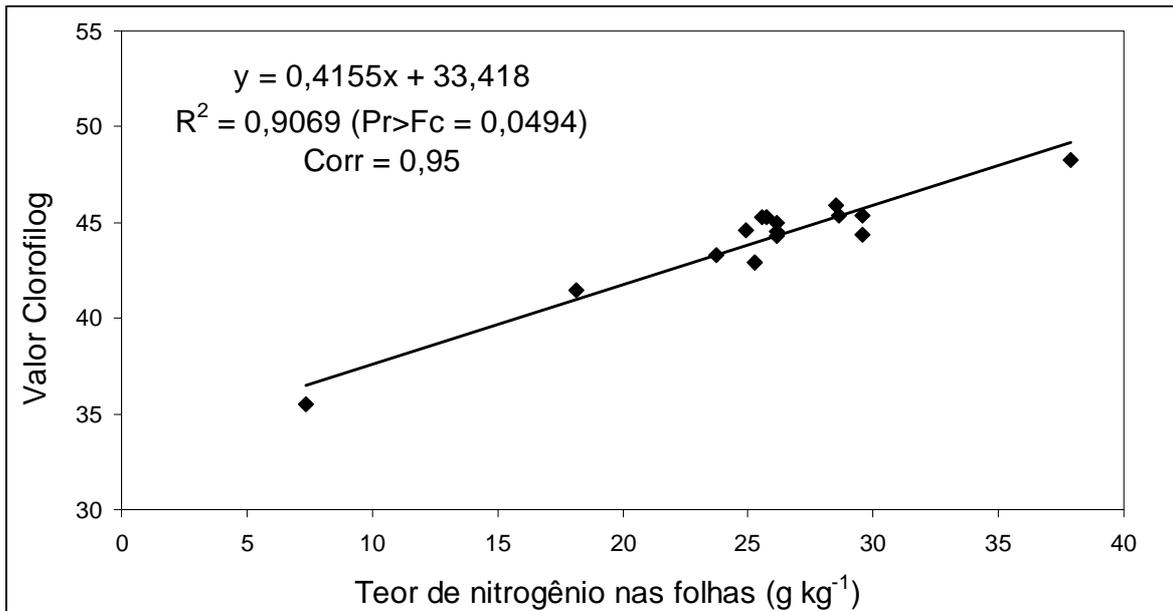


Figura 2.2 – Regressão entre o teor de nitrogênio e o valor clorofílog das folhas das plantas de feijão, nos diversos tratamentos.

CONCLUSÕES

A utilização do inóculo microbiano influenciou negativamente no rendimento de área foliar e não influenciou na fotossíntese líquida e condutância estomática.

Os melhores resultados para área foliar, fotossíntese líquida e condutância estomática foram obtidos nas interações gramínea triturada + NPK e esterco bovino + pó de rocha.

O processo de autoclavagem do solo causou distúrbio no equilíbrio químico do solo e na degradação do material orgânico, reduzindo os rendimentos da área foliar, da fotossíntese líquida e da condutância estomática.

O NPK foi mais eficiente que o pó de rocha, proporcionando aumento nos rendimentos da área foliar, da fotossíntese líquida e da condutância estomática.

O método indireto de medição da clorofila (Clorofílog) possui alta correlação com o teor de N na folha e com a fotossíntese líquida, podendo ser utilizado para monitorar o desenvolvimento das plantas de feijoeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRÉDA, N.J.J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, v.54, n.392, p.2403-2417, 2003.

CHAGAS, P.P.R., et al, Efficiency of lime-sulfur in the control of mite im papaya in conventional and organic(Bokashi-EM) systems.(In Press). Sixth International Conference on Kyusei Nature Farming. October 28-31, 1999. **Proceedings on Kyusei Nature Farming and Effective Microorganisms for Agricultural and Environmental Sustainability**. Pretoria. South Afrúca. Ed. Senannayabe, Y.D.^a; U.R. Sangakkara, APNAN, Thailand.

FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal**, Vol. 2, 2^a edição. EPU Ltda. São Paulo, 1986.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C. e OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba – SP. Potafos, 1997. 319 p.

MELO, A. S., SILVA JÚNIOR, C. D., FERNANDES, P. D., SOBRA, L.F., BRITO, M. R. B. E DANTAS, J. D. M. Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de fertirrigação **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p.733-741, mai-jun, 2009

MONTEIRO, P. F. C. **Efeitos das lâminas irrigação e adubação nitrogenada no comportamento espectral da cultura do feijão**. 2009. P 182. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. – Piracicaba, SP, 2009.

MOREIRA, M. F. **Desenvolvimento do sistema radicular e parte aérea do feijoeiro comum em função do teor de fósforo no solo**. 2004. P 135. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. – Piracicaba, SP, 2004.

OLIVEIRA, A. D., FERNANDES, E. J. e RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.86-95, jan./abr. 2005

PEREIRA, A.R. et al. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ/ESALQ/USP, 1997. 70p.

POMPEU, A.S. Melhoramento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: **Feijão Fatores de Produção e Qualidade**, coord. E.a. bulisani, Campinas: Fundação Cargill, p.1-28, 1987.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**, São Paulo, Nobel, 2002.

RIBEIRO, C. A., GUIMARÃES, P.T.G. E VICTOR, H. V. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais – **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais** – 5^a aproximação. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

SANT'ANA, E. V. P., SANTOS, A. B. e SILVEIRA, P.M. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura spad e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 491-496, out./dez. 2010

SEAGRI – Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária – **Cultura do feijão** <http://www.seagri.ba.gov.br/Feijao.htm#Variedades%20Indicadas>. Acesso em 18 mar. 2008

SIEBENEICHLER, S. C., SANT'ANNA, R., MARTINEZ, C. A., MOSQUIM, P. R. E CAMBRAIA, J. Alterações na fotossíntese, condutância estomática e eficiência fotoquímica induzidas por baixa temperatura em feijoeiros. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 10(1):37-44, 1998

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 3rd ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 690p.

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SANTOS, J. S. **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luis: EDUFMA, 2010. 230p.

CAPÍTULO 3

**EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES DA CULTURA DO FEIJOEIRO SUBMETIDO A
INTERAÇÕES ENTRE INÓCULO MICROBIANO E ADUBAÇÃO.**

EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES DA CULTURA DO FEIJOEIRO SUBMETIDO A INTERAÇÕES ENTRE INÓCULO MICROBIANO E ADUBAÇÃO.

Autor: Eng. Agr. Joctã Lima do Couto.

Orientador: Prof. Dr. Anacleto Ranulfo dos Santos.

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da adição de inóculo microbiano ao solo sobre as concentrações de nutrientes nas plantas de feijoeiro. A pesquisa foi realizada na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, situada no Município de Cruz das Almas – Bahia, no período de novembro de 2009 a abril de 2010 utilizando o feijoeiro da variedade Carioca. O cultivo foi conduzido em casa de vegetação, com delineado em blocos casualizados com 5 repetições. Nos tratamentos utilizou-se NPK, pó de rocha, capim napier seco e triturado, esterco de gado curtido e seco e o inóculo microbiano da Fundação Mokiti Okada, em solo natural e solo autoclavado. O arranjo das interações totalizou 16 tratamentos e as plantas de feijão foram cultivadas em vasos de 5 dm³ e o feijão foi semeado no 16º dia após a inoculação. Aos 33 dias após o plantio, as plantas foram colhidas, separadas em folhas, hastes e raízes. Todo material vegetal foi desidratado em estufa a 65 °C com circulação de ar forçado e digerido em extrato sulfúrico para determinação das concentrações de nitrogênio e extrato nitroperclórico para determinação das concentrações de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, e calculado os acúmulos de nutrientes. Os resultados encontrados e calculados foram submetidos a análise de variância e ao teste de contrastes ortogonais. A presença do inóculo microbiano quando associado a gramínea favoreceu o aumento dos teores de P, Ca e Mg nas folhas, hastes e raízes do feijoeiro, e teve pouca influência na absorção de N e K. A gramínea triturada teve melhor interação com o NPK e o esterco bovino melhor interação com o pó de rocha, incrementando a absorção de P, Ca e Mg. O NPK foi mais eficiente que o pó de rocha no aumento dos teores de P e Mg nas folhas, Ca nas raízes e K por toda a planta. O tratamento 5 com a interação do NPK, gramínea e inóculo microbiano foi o que acumulou as maiores quantidades de N, P, K, Ca e Mg. O método de fertilização do solo utilizado no experimento foi pouco eficiente, com aproveitamento de menos de 10 % dos nutrientes disponibilizados pelos fertilizantes.

Palavras chave: inoculação, absorção de nutrientes, adubação verde

. NUTRIENT EXTRACTION OF CULTURE OF BEAN SUBMITTED INTERACTIONS BETWEEN INOCULUM MICROBIAL AND FERTILIZER.

Author: Eng. Agr. Joctã Lima do Couto

Adviser: Prof. Dr. Anacleto Ranulfo dos Santos

Abstract: This study aimed to evaluate the effects of adding microbial inoculum on the soil nutrient concentrations in bean plants. The research was conducted at the Federal University of Bahia Recôncavo in the Municipality of Cruz das Almas - Bahia, from November 2009 to April 2010 using the bean variety Carioca. The cultivation was conducted in a greenhouse with a randomized blocks design with five replications. Was used in treatments NPK, rock powder, dried and crushed napier grass, cattle manure, dry and leathery microbial inoculum Foundation Mokiti Okada, in natural soil and sterilized soil. The arrangement of interactions total of 16 treatments and bean plants were grown in pots of 5 dm³ and beans were sown on the 16th day after inoculation. At 33 days after planting, the plants were harvested, separated into leaves, stems and roots. All plant material was dried in an oven at 65 °C with forced air circulation and digested in sulfuric extract for determination of total nitrogen and to resolve to extract nitroperclóric concentrations of phosphorus, potassium, calcium and magnesium, and calculated the accumulation of nutrients. The results were calculated and submitted to analysis of variance test and orthogonal contrasts. The presence of the bacterial inoculum when associated with grass favored the increase of P, Ca and Mg in leaves, stems and roots of bean, and had little influence on uptake of N and K. The grassy ground had better interaction with NPK and manure better interaction with the rock powder, increasing the absorption of P, Ca and Mg. The NPK was more efficient than the rock powder in increasing concentrations of P and Mg in leaves, Ca and K in roots throughout the plant. 5 Treatment with the interaction of NPK, meadow and microbial inoculum which was accumulated the largest amounts of N, P, K, Ca and Mg. The method of fertilizing the soil used in the experiment was not very efficient, with use of less than 10% of the nutrients provided by fertilizers.

Key words: inoculation, nutrient absorption, green manure

INTRODUÇÃO

O feijão é um dos componentes básicos da dieta alimentar da população brasileira, principalmente das classes economicamente menos favorecidas. A produção nacional prevista para safra 2010 / 2011 é de cerca de 3,4 milhões de toneladas de feijão, com produtividade média de 944 kg ha⁻¹ (CONAB, 2010), sendo que em áreas irrigadas a produtividade alcança 3.000 kg ha⁻¹.

Na maioria das regiões produtoras predomina a exploração do feijoeiro por pequenos produtores, com praticas não mecanizadas e uso reduzido de insumos, obtendo-se baixas produtividades.

A Região do Recôncavo da Bahia pequenos produtores tradicionalmente cultivam o feijoeiro visando o próprio consumo e a venda em feiras livres, sendo que o plantio se dá no período das águas, de março a junho. Ele é plantado em consórcio com o milho e alternado a cultura da mandioca e aipim.

O baixo uso de tecnologia, a necessidade hídrica e a suscetibilidade a pragas e doenças são alguns dos fatores que fazem do feijão uma cultura de risco. Por isso, em alguns anos, a produção é alta e, em outros, há quebras de safras (FUSCALDIL e PRADO, 2005), o que respalda a necessidade de investimentos em pesquisas que melhorem o manejo da cultura, mesmo com baixa tecnologia, mas, acessíveis para pequenos produtores.

O Inóculo microbiano é um produto composto de materiais orgânicos, submetidos a processos fermentativos controlados. A fermentação predominante é do tipo láctico, porém, ocorre simultaneamente em menor intensidade os tipos acéticos, alcoólicos, propiônicos, butílicos, dentre outros. Umidade, temperatura, tipo e estado das matérias prima e as proporções de carbono e nitrogênio são os fatores que mais interferem para se obter uma boa fermentação dos materiais vegetais, e, a qualidade final do Inóculo microbiano (CHAGAS et al. 1999).

Entre os efeitos da adubação verde sobre a fertilidade do solo estão o aumento da concentração de matéria orgânica diversificando a vida do solo (PRIMAVESI, 2002); a maior disponibilidade de nutrientes; a maior capacidade de troca de cátions efetiva do solo; o favorecimento da produção de ácidos orgânicos, de fundamental importância para a solubilização de minerais; a diminuição das concentrações de alumínio trocável através de sua complexação,

e o incremento da capacidade de ciclagem e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis que estejam nas camadas mais profundas do perfil (ALCANTARA et al, 2000, BOER et al, 2007).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da adição de inóculo microbiano ao solo sobre as concentrações de nutrientes nas plantas de feijoeiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, situada no Município de Cruz das Almas – Bahia, no período de novembro de 2009 a abril de 2010, utilizando o feijoeiro da variedade Carioca, sendo conduzido em casa de vegetação.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 5 repetições, e na composição dos tratamentos utilizou-se NPK, pó de rocha, capim napier seco e triturado, esterco de gado curtido e seco e o inóculo microbiano da Fundação Mokiti Okada, em solo natural e solo autoclavado. O arranjo das interações totalizou 16 tratamentos, abaixo descritos:

Tratamentos testados:

- 1 - Testemunha absoluta – solo natural
- 2 - Testemunha relativa - Calagem.
- 3 - Calagem + NPK.
- 4 - Calagem + NPK + Gramínea triturada.
- 5 - Calagem + NPK + (Gramínea triturada + Inóculo microbiano).
- 6 - Calagem + NPK + Esterco bovino curtido.
- 7 - Calagem + NPK + (Esterco bovino curtido + Inóculo microbiano).
- 8 - Calagem + Pó de rocha.
- 9 - Calagem + Pó de rocha + Gramínea triturada.
- 10 - Calagem + Pó de rocha + (Gramínea triturada + Inóculo microbiano).
- 11 - Calagem + Pó de rocha + Esterco bovino curtido.
- 12 - Calagem + Pó de rocha + (Esterco bovino curtido + Inóculo microbiano).
- 13 - (Calagem) Autoclavado
- 14 - (Calagem) Autoclavado + NPK.
- 15 - (Calagem) Autoclavado + NPK + Gramínea triturada.
- 16 - (Calagem) Autoclavado + NPK + (Gramínea triturada + Inóculo microbiano).

As plantas de feijão foram cultivadas em vasos de 5 dm³, cuja altura era de 0,20 m, a base 0,15 m de diâmetro e a abertura superior 0,20 m de diâmetro, submetidos a regas diárias mantendo o solo próximo da capacidade de campo.

No interior da casa de vegetação foram registradas temperaturas mínimas de 20° C e máximas de 34° C, e uma umidade relativa do ar média de 80 %.

Para o experimento foi coletado um Latossolo Amarelo de uma área de pastagem, e suas características químicas e granulométricas estão na tabela 3.1.

Tabela – 3.1 Características químicas e granulométricas do Latossolo Amarelo.

	mg dm ⁻³	Cmol _c dm ⁻³								%			
pH	P	K	Ca	Mg	Al	Na	H+Al	S	CTC	V	Argila	Areia	Silte
5,0	2,41	0,17	0,30	0,82	0,30	0,06	2,25	1,35	3,6	38	25,2	69,4	5,4

Com base nos resultados das análises químicas, foi feita calagem, elevando a saturação por base para 50%, utilizando-se 3 g de calcário dolomítico por vaso. As fontes de NPK utilizadas foram: cloreto de potássio (0,17 g vaso⁻¹), superfosfato simples (1,53 g vaso⁻¹) e uréia (0,34 g vaso⁻¹), nas dosagens recomendadas no manual de adubação de Minas Gerais (RIBEIRO et al, 1999). O pó de rocha originário da região de Ipirá - BA, foi utilizado na proporção de 2.500 kg ha⁻¹ (6,25 g vaso⁻¹), esta quantidade de pó de rocha equivale a 0,215 g vaso⁻¹ de P₂O₅ solúveis em ácido clorídrico, enquanto que a quantidade de superfosfato simples utilizado disponibiliza 0,221 g vaso⁻¹ de P₂O₅ solúveis em água. Na tabela 3.2 encontra-se a descrição química do pó de rocha.

Tabela – 3.2 Características químicas do pó de rocha de Ipirá.

g kg ⁻¹									mg dm ⁻³
P	K	Ca	Mg	Al	Na	Fe	SiO ₂		N
15	24	42	11	77	24	45	544		84,7

Os materiais orgânicos foram ministrados na proporção de 10.000 kg ha⁻¹ de esterco bovino curtido e seco (25 g vaso⁻¹) que equivale a 0,056 g vaso⁻¹ de P₂O₅ e 20.000 kg ha⁻¹ de capim napier triturado e seco (50 g vaso⁻¹) que equivale a 0,054 g vaso⁻¹ de P₂O₅.

O inóculo microbiano foi produzido pelo Centro de Pesquisa da Fundação Mokiti Okada, sendo composto de materiais orgânicos, submetidos a processos fermentativos controlados. A fermentação predominante é do tipo láctico, porém, ocorre simultaneamente em menor intensidade os tipos acéticos, alcoólicos,

propiónicos, butílicos, dentre outros, e foi utilizado na proporção de 1.000 kg ha⁻¹ (2,5 g vaso⁻¹).

Após 45 de incubação com calcário dolomítico, o solo úmido dos respectivos tratamentos foram autoclavados a temperatura de 120 °C, sobre pressão de 1 atm durante 30 minutos, e permaneceram vedados até o momento da inoculação. O inóculo microbiano foi previamente misturado ao material orgânico para em seguida ser adicionado ao solo.

No 16º dia após a inoculação o feijão foi semeado nos vasos e após a germinação foram conduzidas somente duas plantas.

Aos 33 dias após o plantio, as plantas foram colhidas, separadas em folhas, hastes e raízes. Todo material vegetal foi desidratado em estufa a 65 °C com circulação de ar forçado.

O material seco foi digerido em extrato nitro-perclórico para a extração dos elementos minerais, sendo que o potássio foi determinado no fotômetro de chama, o magnésio e o cálcio no espectrofotômetro de absorção atômica e o fósforo por colorimetria no espectrofotômetro. Outra parte do material foi digerida com extrato sulfúrico, para extração do nitrogênio com posterior determinação microdestilador semi-Kjeldahl, seguindo metodologia descrita por Malavolta et al (1997).

Com os resultados obtidos foram calculados as concentrações e acúmulos dos nutrientes nas folhas, hastes e raízes e os dados encontrados submetidas a análise de variância e ao teste de contrastes ortogonais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1 – Estudo do nitrogênio

Na tabela 3.3 estão às concentrações em g kg^{-1} de nitrogênio nas folhas, hastes e raízes, e as relações entre elas.

O tratamento solo autoclavado (Trat 13), proporcionou a maior concentração de nitrogênio nas folhas de feijoeiro ($34,6 \text{ g kg}^{-1}$), cerca de 36 % acima do valor da testemunha relativa ($25,4 \text{ g kg}^{-1}$).

Segundo Malavolta et al (1997) as concentrações adequadas de nitrogênio nas folhas de feijoeiro variam de 30 a 50 g kg^{-1} de massa seca. E neste trabalho somente o tratamento com solo autoclavado e sem fertilizantes conseguiu atingir esta faixa ideal. A ação térmica da autoclavagem matando os microrganismos do solo propiciou uma ausência de imobilização do nitrogênio e a sua liberou dos compostos orgânicos do solo.

Nos tratamentos 7, 8, 9, 10, 11 e 12, há uma proximidade entre as diversas relações, denotando um maior equilíbrio fisiológico e nutricional. Pois a distribuição de nitrogênio é mais homogênea por toda a planta. A esse respeito Chaboussou (1980) afirma que, o estado nutricional da planta é que parece determinar a resistência ou susceptibilidade da mesma ao ataque de pragas e patógenos. Uma carência nutricional resultante de um desequilíbrio na quantidade de macro e micronutrientes pode provocar mudanças no metabolismo da planta fazendo com que predomine o estado de proteólise nos tecidos, no qual os parasitas encontram as substâncias solúveis necessárias para a sua nutrição. Por outro lado, quando existe um equilíbrio nutricional na planta, um ou mais elementos agem de forma benéfica no metabolismo, estimulando a proteossíntese, resultando numa baixa concentração de substâncias solúveis nutricionais, não correspondendo às exigências tróficas do parasita, ficando as plantas desta forma menos atrativas ao ataque de insetos e microrganismos patogênicos.

Tabela 3.3 – Valores médios da concentração de nitrogênio nas folhas, hastes e raízes, da cultura do feijoeiro e a relação entre elas (média de 5 repetições).

Tratamentos	Folhas	Hastes	Raízes	Relação		
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	F:H	F:R	H:R
1 Ta	26,03	16,12	15,55	1,61	1,67	1,04
2 TR	25,40	14,97	3,66	1,70	6,94	4,09
3 NPK	27,31	16,53	14,25	1,65	1,92	1,16
4 NPK + Gram	25,52	15,28	2,37	1,67	10,79	6,46
5 NPK + Gram + Inoc	25,36	15,84	2,46	1,60	10,29	6,43
6 NPK + Est	25,97	18,76	1,05	1,38	24,69	17,83
7 NPK + Est + Inoc	24,13	14,11	10,57	1,71	2,28	1,33
8 PR	23,20	15,81	14,22	1,47	1,63	1,11
9 PR + Gram	24,33	10,65	15,45	2,28	1,57	0,69
10 PR + Gram + Inoc	25,67	13,09	16,12	1,96	1,59	0,81
11 PR + Est	27,51	14,37	14,89	1,91	1,85	0,97
12 PR + Est + Inoc	29,05	9,14	15,81	3,18	1,84	0,58
13 Aut	34,60	3,05	18,74	11,33	1,85	0,16
14 Aut + NPK	28,95	23,27	17,45	1,24	1,66	1,33
15 Aut + NPK + Gram	26,03	7,53	15,40	3,46	1,69	0,49
16 Aut + NPK + Gram + Inoc	26,93	2,26	17,30	11,92	1,56	0,13
CV	9,5	12,6	16,4	-	-	-
Pr > F	0,0001	0,0001	0,0001	-	-	-

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 significam que na variável estudada pelo menos um tratamento é superior aos demais.

No estudo das relações entre as concentrações de nitrogênio nas partes vegetativas do feijoeiro foram observados maiores valores para as folhas, isto devido a intensa atividade fotossintética deste órgão e a alta mobilidade deste elemento no interior das plantas.

Fonseca (2005) trabalhando com outra amendoinzeiro em campo obteve valores estatisticamente iguais para as concentrações de nitrogênio das folhas, não havendo diferenças entre o tratamento controle e os tratamentos que utilizaram adubos solúveis e diversos adubos orgânicos.

Na tabela 3.4 estão dispostos o estudo de 20 contrastes ortogonais entre vários tratamentos, para as concentrações de nitrogênio nas folhas, hastes e raízes da cultura do feijoeiro.

Observamos que somente os contrastes \hat{Y}_7 , \hat{Y}_{13} e \hat{Y}_{14} foram significativos para as folhas, e neles a presença do esterco bovino criou condições que favoreceram o aumento dos valores de nitrogênio nas folhas. Provavelmente as contribuições da fixação biológica, que não foram quantificadas, interferiram

substancialmente nos tratamentos, e como a contribuição do esterco de 11,8 g kg⁻¹ e com sua rápida mineralização explicam o comportamento dos tratamentos.

A presença do inóculo microbiano não influenciou nas concentrações de nitrogênio nas folhas.

Os contrastes \hat{Y}_5 , \hat{Y}_{11} e \hat{Y}_{13} demonstram que a presença do esterco bovino aumentou os valores de nitrogênio nas hastes, seja conjugado ao NPK ou ao pó de rocha. Souza e Fernandes (2006) afirmam que o NH₄⁺ absorvido pelas raízes é de imediato assimilado enquanto que o NO₃⁻ pode ser estocados nos vacúolos. Podemos que afirmar que pela característica do esterco bovino, com sua rápida mineralização, ele disponibilize para o solo e planta o nitrogênio na forma de NH₄⁺, o que explica os maiores concentração de N nas hastes dos tratamentos com esterco bovino.

Tabela 3.4 – Estimativas dos contrastes ortogonais para as concentrações de nitrogênio nas folhas, hastes e raízes da cultura do feijoeiro (média de 5 repetições).

Contrastes		Folhas		Hastes		Raízes	
		Estim.	Pr > F	Estim.	Pr > F	Estim.	Pr > F
$\hat{Y}_1 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Gram)	1,79	0,265	1,25	0,238	11,88	0,001
$\hat{Y}_2 = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Gram + Inoc)	0,16	0,920	-0,56	0,594	-0,10	0,938
$\hat{Y}_3 = (\text{PR})$	vs. (PR + Gram)	-1,13	0,481	5,16	0,000	-1,23	0,333
$\hat{Y}_4 = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	-1,33	0,405	-2,44	0,023	-0,67	0,599
$\hat{Y}_5 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Est)	1,33	0,405	-2,23	0,037	13,20	0,001
$\hat{Y}_6 = (\text{NPK} + \text{Est})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	1,85	0,250	4,65	0,001	-9,52	0,001
$\hat{Y}_7 = (\text{PR})$	vs. (PR + Est)	-4,31	0,008	1,44	0,176	-0,67	0,599
$\hat{Y}_8 = (\text{PR} + \text{Est})$	vs. (PR + Est + Inoc)	-1,54	0,337	5,24	0,001	-0,92	0,467
$\hat{Y}_9 = (\text{Aut} + \text{NPK})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	2,93	0,070	15,74	0,001	2,05	0,109
$\hat{Y}_{10} = (\text{Aut} + \text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	-0,91	0,571	5,27	0,001	-1,90	0,138
$\hat{Y}_{11} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Est)	-0,46	0,775	-3,48	0,001	1,31	0,302
$\hat{Y}_{12} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	1,23	0,442	1,73	0,105	-8,11	0,001
$\hat{Y}_{13} = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Est)	-3,18	0,050	-3,72	0,001	0,56	0,657
$\hat{Y}_{14} = (\text{PR} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Est + Inoc)	-3,39	0,037	3,95	0,001	0,31	0,808
$\hat{Y}_{15} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram)	1,19	0,459	4,63	0,001	-13,09	0,001
$\hat{Y}_{16} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	-0,31	0,847	2,75	0,011	-13,65	0,001
$\hat{Y}_{17} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	-0,51	0,751	7,75	0,001	-13,03	0,001
$\hat{Y}_{18} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	-1,57	0,326	13,58	0,001	-14,84	0,001
$\hat{Y}_{19} = \text{Tratamentos com Inoc}$	vs. Tratamentos sem Inoc	1,77	0,620	-12,15	0,001	13,11	0,001
$\hat{Y}_{20} = \text{Tratamentos com NPK}$	vs. Tratamentos com PR	4,98	0,075	8,10	0,001	-26,71	0,001

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado, Estim: estimativa

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 são consideram como contraste significativo.

Valor de estimativa positivo refere-se a 1ª coluna e negativo refere-se a 2ª coluna.

Nos contrastes \hat{Y}_3 e \hat{Y}_9 , visualizamos que a presença da gramínea reduziu os valores de nitrogênio nas hastes, isto porque as gramíneas possuem uma relação C:N alta, que num primeiro momento tende a imobilizar o N de solo e em seguida mineralizá-lo lentamente. No contrastes \hat{Y}_4 fica implícito que o inóculo foi capaz de acelerar a mineralização dos nutrientes presentes nas gramíneas, pois na a presença dele foi capaz de elevar em $2,44 \text{ g kg}^{-1}$ a concentração de nitrogênio nas hastes.

Comparando os grupos de tratamentos com inóculo versus os sem inóculo (contrastes \hat{Y}_{19}), a presença dele diminuiu as concentrações de N nas hastes. Podemos afirmar que, de modo geral, foi favorecida a imobilização com lenta mineralização de N, que ficou adsorvida no solo na forma de mucilagens e nas estruturas dos microrganismos (PAUL e CLARK, 1996).

O contraste \hat{Y}_1 demonstra um efeito negativo da gramínea associada ao NPK sobre o valor de nitrogênio nas raízes, comportamento idêntico as hastes, isto ocorre devido a alta imobilização de nutrientes por causa da elevada relação C:N.

Os contrastes \hat{Y}_6 , \hat{Y}_{19} , e \hat{Y}_{15} , \hat{Y}_{16} , \hat{Y}_{20} , mostram respectivamente que as presenças do inóculo microbiano e do pó de rocha aumentaram de forma significativa as concentrações do referido nutriente nas raízes. Isto provavelmente acontece devido a ação dos microrganismos fixadores de nitrogênio, estimulado pela presença do inoculo microbiano e pela baixa solubilidade do pó de.

Na tabela 3.5 estão as médias do nitrogênio acumulado nas folhas, hastes e raízes, e as relações entre elas.

Em todos os tratamentos estudados o maior acúmulo do nutriente em questão foi obtido nas folhas, justificado pela intensa atividade metabólica e maior quantidade de massa seca neste órgão. Podemos destacar os tratamentos com presenças de inóculo microbiano, esterco bovino ou gramínea por possuírem um valor nominal de acúmulo na folha maior que os demais tratamentos, exemplificando, o tratamento 5 (NPK+ gramínea + inóculo microbiano), que acumulou um total de 61,2 mg de N, 82 % a mais que a testemunha (33,6 mg). Por outro lado a adição de material orgânico ao solo aumentou o desenvolvimento vegetal, elevando a produção de matéria seca, que influencia diretamente no valor acumulado.

Considerando o valor acumulado no tratamento 5, e que as plantas foram colhidas aos 33 dias após o plantio, a cultura exportou cerca de 25 kg ha⁻¹ do nutriente

Somando-se a contribuição da uréia presente no NPK, mais a gramínea e o inóculo microbiano, foram adicionados ao solo do tratamento 5 cerca de 400 mg de N, e a diferença entre o Trat 5 e Tr é de 27,6 mg de N. Esta diferença representa um aproveitamento de 7 % do N aplicado nas formas orgânicas e minerais. Os 93 % restantes estão estocados no solo e ou se perderam na forma gasosa como NH₃, N₂ ou N₂O (Cantarella, 2007), as perdas por lixiviação são desprezíveis, visto que a quantidade de água aplicadas nas regas era o suficiente para não haverem perdas por drenagem. Nesta estimativa de eficiência da absorção de N foram desprezadas as contribuições por fixação biológica. Esta baixa eficiência é preocupante e onerosa, visto o alto custo dos fertilizantes, seja pelo seu valor comercial, pelos ônus ambientais e pelos gastos na aplicação.

Tabela 3.5 – Valores médios de acúmulo de nitrogênio nas folhas, hastes e raízes, da cultura do feijoeiro e a relação entre elas (média de 5 repetições).

Tratamentos	Folhas	Hastes	Raízes	Relação		
	mg	mg	mg	F:H	F:R	H:R
1 Ta	26,55	4,43	5,55	5,99	4,78	0,80
2 Tr	26,04	5,61	1,97	4,64	13,20	2,84
3 NPK	37,47	8,58	11,46	4,37	3,27	0,75
4 NPK + Gram	45,55	10,21	1,52	4,46	29,94	6,71
5 NPK + Gram + Inoc	47,82	11,34	2,03	4,22	23,57	5,59
6 NPK + Est	41,92	10,03	0,54	4,18	77,49	18,54
7 NPK + Est + Inoc	38,17	7,64	4,41	5,00	8,65	1,73
8 PR	24,71	6,78	7,55	3,64	3,27	0,90
9 PR + Gram	33,49	6,45	8,59	5,19	3,90	0,75
10 PR + Gram + Inoc	43,82	8,20	6,40	5,35	6,84	1,28
11 PR + Est	44,08	6,43	7,37	6,85	5,98	0,87
12 PR + Est + Inoc	42,87	4,62	8,90	9,27	4,82	0,52
13 Aut	31,78	0,90	6,86	35,43	4,63	0,13
14 Aut + NPK	47,07	6,10	5,72	7,71	8,23	1,07
15 Aut + NPK + Gram	33,83	1,92	2,45	17,60	13,83	0,79
16 Aut + NPK + Gram + Inoc	34,92	0,65	3,30	53,77	10,57	0,20
CV	26,0	22,5	33,8	-	-	-
Pr > F	0,0009	0,0001	0,0001	-	-	-

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; NPK: adubo solúvel; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 significam que na variável estuda pelo menos um tratamento é superior aos demais.

2 – Estudo do fósforo

Na tabela 3.6 estão as concentrações em g kg^{-1} de fósforo nas folhas, hastes e raízes, e as relações entre elas.

O tratamento NPK+ gramínea + inóculo microbiano (Trat 5) proporcionou a maior concentração de fósforo nas folhas de feijoeiro ($3,34 \text{ g kg}^{-1}$), cerca de 137 % acima do valor da testemunha relativa ($0,99 \text{ g kg}^{-1}$), seguidos dos tratamentos pó de rocha + gramínea + inóculo (Trat 10) e solo autoclavado + NPK+ gramínea + inóculo (Trat 16).

Segundo Malavolta et al (1997) as concentrações adequadas de fósforo nas folhas de feijoeiro variam de 2 a 3 g kg^{-1} de massa seca. E nas células vegetais ele está presente nos nucleotídeos constituintes do material genético, nos fosfolípidios presentes nas membranas celulares, nos fosfatos de adenosina, como o ATP e o ADP (ARAÚJO e MACHADO, 2006), que estão relacionados ao transporte de energia entre os órgãos da planta.

Os três tratamentos com a combinação gramínea + inóculo microbiano, seja associado ao adubo solúvel, pó de rocha e ao solo autoclavado, proporcionaram as folhas as três maiores concentrações de fósforo. Apesar de, suas características originais, o solo possuir apenas $2,41 \text{ mg dm}^{-3}$ de fósforo disponível, valor muito baixo para os padrões dos solos tropicais brasileiros, cuja faixa ideal está entre 12,1 a 20 mg dm^{-3} para solos com 25 % de argila (RIBEIRO et al, 1999). Entretanto, os microrganismos habitantes da rizosfera e do solo desempenham funções primordiais no aumento da disponibilidade de fósforo do solo para as plantas, por meio de mecanismos que afetam a estrutura, a química, a bioquímica e a fisiologia do ambiente radicular. Dentre essas ações dos organismos, destacam-se a extensão dos sistemas radiculares pela associação de fungos micorrízicos e a solubilização microbiana do fósforo por algumas bactérias e fungos (ARAÚJO e MACHADO, 2006).

Nas hastes a maior concentração de fósforo foi encontrada no tratamento 16 (solo autoclavado + NPK+ gramínea + inóculo microbiano) e nas raízes no tratamento 15 (solo autoclavado + NPK+ gramínea)

Na maioria dos tratamentos, há maior concentração de fósforo na folha do que nas raízes, e a relação F:H não está bem definida, havendo muitas variações entre os tratamentos. Malavolta et al (1997) explica que o fósforo está envolvido

no transporte de longa distância e também esta presente por toda a planta nas membranas e nos materiais genéticos. Mas como os processos metabólicos são mais intensos nas folhas, é natural que esta tenha as maiores concentrações.

Tabela 3.6 – Valores médios da concentração de fósforo nas folhas, hastes e raízes, da cultura do feijoeiro e a relação entre eles (média de 5 repetições).

Tratamentos	Folhas	Hastes	Raízes	Relação		
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	F:H	F:R	H:R
1 Ta	0,85	0,67	0,64	1,28	1,33	1,04
2 Tr	0,99	0,83	0,67	1,19	1,48	1,24
3 NPK	1,21	0,56	0,61	2,15	1,98	0,92
4 NPK + Gram	1,88	2,14	1,08	0,88	1,75	1,99
5 NPK + Gram + Inoc	3,34	2,21	1,02	1,51	3,28	2,17
6 NPK + Est	2,14	2,43	1,63	0,88	1,32	1,49
7 NPK + Est + Inoc	1,18	2,58	0,85	0,46	1,39	3,04
8 PR	1,08	1,23	0,64	0,88	1,70	1,94
9 PR + Gram	1,81	2,11	0,93	0,86	1,95	2,28
10 PR + Gram + Inoc	2,37	1,69	1,27	1,40	1,87	1,34
11 PR + Est	1,04	1,73	0,65	0,60	1,59	2,67
12 PR + Est + Inoc	1,14	1,53	1,56	0,75	0,73	0,99
13 Aut	1,49	1,32	0,43	1,13	3,44	3,04
14 Aut + NPK	1,74	2,21	1,34	0,79	1,30	1,65
15 Aut + NPK + Gram	2,19	2,01	2,04	1,09	1,07	0,99
16 Aut + NPK + Gram + Inoc	2,27	2,85	1,34	0,80	1,70	2,13
CV	18,2	16,9	20,2	-	-	-
Pr > F	0,0001	0,0001	0,0001	-	-	-

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 significam que na variável estudada pelo menos um tratamento é superior aos demais.

Na tabela 3.7 estão dispostos o estudo de 20 contrastes ortogonais entre vários tratamentos, para as concentrações de fósforo nas folhas, nas hastes e nas raízes da cultura do feijoeiro.

Nos contrastes \hat{Y}_1 , \hat{Y}_3 e \hat{Y}_9 , a adição da gramínea, seja associada ao NPK ou ao pó de rocha, incrementou as concentrações de fósforo nas folhas. A presença do inóculo microbiano também teve a mesma ação positiva nos contrastes \hat{Y}_2 , \hat{Y}_4 e \hat{Y}_{19} , mas no contraste \hat{Y}_6 , com a presença do esterco bovino + NPK sua presença depreciou as concentrações do fósforo. Nos contrastes \hat{Y}_{12} , \hat{Y}_{13} e \hat{Y}_{14} a substituição de esterco bovino pela gramínea favoreceu o aumento da concentração de fósforo nas folhas. Nos 10 contrastes acima citados há a

particularidade de o manejo favorecer o crescimento da população microbiana do solo, seja pela adição de material vegetal cru (gramínea) ou pela inoculação de microrganismos. Primavesi (2002) argumenta que o retorno de material orgânico ao solo é essencial, e sua aplicação periódica se torna indispensável. Seu efeito principal é sobre a bioestrutura do solo. Para isso, a incorporação superficial de palha ou de qualquer material celulósico é adequada.

A incorporação da gramínea contribui para a sanidade vegetal, por diversificar a vida do solo, produzir substâncias fungistáticas como fenóis e permitir a produção de antibióticos por bactérias. Porém, o efeito do material orgânico depende do seu manejo adequado. E segundo Trinca (1999) a elevada concentração de carbono na matéria orgânica é a fonte energética por excelência para a ocorrência de diversos processos biológicos, que melhoram a disponibilidade de nutrientes do solo.

Tabela 3.7 – Estimativas dos contrastes ortogonais para as concentrações de fósforo nas folhas, hastes e raízes da cultura do feijoeiro (média de 5 repetições).

Contrastes		Folhas		Hastes		Raízes	
		Estim.	Pr > F	Estim.	Pr > F	Estim.	Pr > F
$\hat{Y}_1 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Gram)	-0,67	0,001	-1,58	0,001	-0,47	0,001
$\hat{Y}_2 = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Gram + Inoc)	-1,46	0,001	-0,06	0,734	0,06	0,654
$\hat{Y}_3 = (\text{PR})$	vs. (PR + Gram)	-0,73	0,001	-0,88	0,001	-0,29	0,032
$\hat{Y}_4 = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	-0,56	0,004	0,42	0,028	-0,34	0,013
$\hat{Y}_5 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Est)	-0,93	0,001	-1,87	0,001	-1,02	0,001
$\hat{Y}_6 = (\text{NPK} + \text{Est})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	0,96	0,001	-0,15	0,427	0,78	0,001
$\hat{Y}_7 = (\text{PR})$	vs. (PR + Est)	0,05	0,812	-0,50	0,010	-0,01	0,921
$\hat{Y}_8 = (\text{PR} + \text{Est})$	vs. (PR + Est + Inoc)	-0,11	0,576	0,20	0,294	-0,91	0,001
$\hat{Y}_9 = (\text{Aut} + \text{NPK})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	-0,45	0,022	0,20	0,298	-0,70	0,001
$\hat{Y}_{10} = (\text{Aut} + \text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	-0,08	0,666	-0,84	0,001	0,70	0,001
$\hat{Y}_{11} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Est)	-0,26	0,172	-0,29	0,132	-0,55	0,001
$\hat{Y}_{12} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	2,16	0,001	-0,37	0,051	0,17	0,214
$\hat{Y}_{13} = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Est)	0,78	0,001	0,38	0,047	0,28	0,041
$\hat{Y}_{14} = (\text{PR} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Est + Inoc)	1,23	0,001	0,16	0,403	-0,29	0,034
$\hat{Y}_{15} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram)	0,07	0,731	0,03	0,868	0,15	0,266
$\hat{Y}_{16} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	0,97	0,001	0,52	0,007	-0,25	0,065
$\hat{Y}_{17} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	-0,31	0,112	0,13	0,491	-0,96	0,001
$\hat{Y}_{18} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	1,07	0,001	-0,64	0,001	-0,32	0,018
$\hat{Y}_{19} = \text{Tratamentos com Inoc}$	vs. Tratamentos sem Inoc	1,25	0,005	0,43	0,311	-0,29	0,329
$\hat{Y}_{20} = \text{Tratamentos com NPK}$	vs. Tratamentos com PR	-0,67	0,001	-0,12	0,707	-0,13	0,586

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado, Estim: estimativa
 Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 são considerados como contraste significativo.
 Valor de estimativa positivo refere-se a 1ª coluna e negativo refere-se a 2ª coluna.

Nos contrastes \hat{Y}_{16} , \hat{Y}_{18} e \hat{Y}_{20} , a adição do NPK aumentou a disponibilidade de fósforo e as suas concentrações nas folhas. E o mesmo comportamento ocorreu ao se adicionar esterco bovino ao NPK (contrastos \hat{Y}_5).

Para as hastes foi observado um comportamento muito similar ao das folhas. A adição de gramínea (contrastos \hat{Y}_1 e \hat{Y}_3), a adição do inóculo microbiano (contraste \hat{Y}_{10}), a adição do esterco bovino (contrastos \hat{Y}_5 e \hat{Y}_7), a substituição do esterco bovino pela gramínea (contraste \hat{Y}_{13}) e a substituição do pó de rocha pelo NPK (contraste \hat{Y}_{16}) aumentaram as concentrações no interior das hastes. Estas condições que favoreceram o crescimento microbiano foram capazes de realizarem tal acréscimo.

No contraste \hat{Y}_{18} o processo de autoclavagem do solo aumentou as concentrações de fósforo nas hastes, provavelmente a ação térmica deve ter disponibilizado o fósforo não lábil presentes nos minerais do solo, além de selecionar a população microbiana, repovoada com a adição do inóculo microbiano.

Para as raízes foi observado um comportamento muito similar ao das folhas e hastes, mas com algumas exceções. A adição de gramínea (contrastos \hat{Y}_1 , \hat{Y}_3 e \hat{Y}_9), a adição do esterco bovino (contraste \hat{Y}_5), e o processo de autoclavagem (contraste \hat{Y}_{17} e \hat{Y}_{18}) aumentaram as concentrações nas raízes.

Com a adição do inóculo microbiano (contrastos \hat{Y}_4 e \hat{Y}_8) na presença do pó de rocha e na presença da gramínea ou do esterco bovino, as concentrações do fósforo nas raízes aumentaram, no entanto, na presença do adubo solúvel, seja com gramínea ou esterco bovino (contrastos \hat{Y}_6 e \hat{Y}_{10}) as concentrações diminuíram. Nesta situação específica a oferta suficiente no nutriente na forma solúvel do adubo, criou condição desfavorável ao desenvolvimento microbiano. Fortes Neto et al (2007) afirmam que fertilizantes fosfatados solúveis poderão, dependendo da dose, inibir a colonização radicular e a produção de micélio ativo e externo total dos fungos micorrízicos arbusculares. Esses resultados sugerem certo cuidado no emprego de fungos micorrízicos como indicadores da qualidade do solo, pois o estabelecimento da simbiose micorrízica é um processo dinâmico, em que as mais variadas condições do hospedeiro influenciam o simbiote, e vice-versa, tanto no que se refere à disponibilidade de fósforo quanto à adaptação do fungo às condições do meio.

A substituição do esterco bovino pela gramínea na presença do pó de rocha (contraste \hat{Y}_{13}) resultou no aumento das concentrações do fósforo nas raízes, enquanto que nas presenças do NPK (contraste \hat{Y}_{11}) e pó de rocha + inóculo microbiano (contraste \hat{Y}_{14}) depreciou esta concentração. Comportamentos aleatórios que não seguem uma tendência.

Na tabela 3.8 estão as médias do fósforo acumulado nas folhas, hastes e raízes, e as relações entre elas.

Na maioria dos tratamentos estudados o maior acúmulo do nutriente em questão foi obtido nas folhas, seguido das hastes e das raízes, como esperado.

O maior acúmulo na planta de feijão ocorreu no tratamento 5 (NPK+ gramínea + inóculo microbiano), cerca de 400 % maior que na testemunha relativa, acumulando 8,6 mg e 1,7 mg de P respectivamente. E considerando que as plantas foram colhidas com 33 dias após o plantio, o tratamento 5 extraiu o equivalente a 4,3 kg ha⁻¹ de P.

Somando-se a contribuição do superfosfato simples presente no NPK, mais a gramínea e o inóculo microbiano, foram adicionados ao solo do tratamento 5 cerca de 180 mg de P, e a diferença entre o Trat 5 e Tr é cerca de 7 mg de P. Esta diferença representa um aproveitamento de 4 % do P aplicado nas formas orgânicas e minerais. Os 96 % restantes estão estocados no solo nas formas lábil e não lábil (Novais et al, 2007), as perdas por lixiviação e erosão são desprezíveis, visto que a quantidade de água aplicadas nas regas era o suficientes para não haverem perdas por drenagem. Possivelmente, com um manejo adequado da matéria orgânica estimulando a microbiota do solo e da correção adequada da acidez do solo, podem aumento a eficiência do uso de fertilizantes, reduzindo as quantidades aplicadas.

Tabela 3.8 – Valores médios de fósforo acumulado nas folhas, hastes e raízes, da cultura do feijoeiro e a relação entre eles (média de 5 repetições).

Tratamentos	Folhas	Hastes	Raízes	Relação		
	mg	mg	mg	F:H	F:R	H:R
1 Ta	0,87	0,19	0,24	4,64	3,66	0,79
2 Tr	1,04	0,31	0,36	3,35	2,87	0,86
3 NPK	1,70	0,29	0,50	5,90	3,43	0,58
4 NPK + Gram	3,43	1,43	0,69	2,39	4,97	2,08
5 NPK + Gram + Inoc	6,18	1,59	0,83	3,90	7,41	1,90
6 NPK + Est	3,48	1,29	0,86	2,70	4,06	1,51
7 NPK + Est + Inoc	1,87	1,41	0,35	1,33	5,27	3,97
8 PR	1,15	0,53	0,34	2,17	3,43	1,58
9 PR + Gram	2,53	1,24	0,47	2,03	5,38	2,65
10 PR + Gram + Inoc	4,05	1,05	0,50	3,84	8,10	2,11
11 PR + Est	1,65	0,78	0,33	2,12	5,00	2,36
12 PR + Est + Inoc	1,69	0,80	0,88	2,12	1,93	0,91
13 Aut	1,38	0,38	0,16	3,65	8,85	2,42
14 Aut + NPK	2,78	0,58	0,44	4,76	6,30	1,33
15 Aut + NPK + Gram	2,95	0,51	0,33	5,74	8,86	1,54
16 Aut + NPK + Gram + Inoc	2,97	0,82	0,26	3,63	11,61	3,20
CV	33,2	26,3	33,1	-	-	-
Pr > F	0,0001	0,0001	0,0001	-	-	-

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; NPK: adubo solúvel; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 significam que na variável estudada pelo menos um tratamento é superior aos demais.

3 – Estudo do potássio

Na tabela 3.9 estão as concentrações em g kg^{-1} de potássio nas folhas, hastes e raízes, e as relações entre elas.

O tratamento autoclavado + NPK+ gramínea (Trat 15), proporcionou a maior concentração de potássio nas folhas de feijoeiro ($34,19 \text{ g kg}^{-1}$), cerca de 235 % acima do valor da testemunha relativa ($10,18 \text{ g kg}^{-1}$), seguidos dos tratamentos possuem solo autoclavado (trat 14 e 16).

Segundo Malavolta et al (1997) as concentrações adequadas de potássio nas folhas de feijoeiro variam de 20 a 25 g kg^{-1} de massa seca. Entretanto, 3 tratamentos com solo autoclavados extrapolaram a faixa ideal e somente os tratamentos que contem a presença de esterco bovino estão dentro desta faixa de concentração adequada.

O esterco bovino possuía uma concentração de potássio de $9,4 \text{ g kg}^{-1}$ de massa seca e nos tratamentos foi utilizado na proporção de $10.000 \text{ kg ha}^{-1}$, visto que a rápida mineralização deste esterco favoreceu a absorção do mineral pelas plantas de feijoeiro. Silva et al (2004) trabalhando com milho, concluíram que o esterco aumentou a retenção e a disponibilidade de água e as concentrações de fósforo, potássio e sódio, na camada do solo de 0,20 a 0,40 m.

Quanto aos tratamentos com solo autoclavado acredita-se que ação térmica da autoclave durante a esterilização, disponibilizou parte do potássio não disponível, que conforme afirmam Prasad e Power (1997), o potássio não disponível está ligado covalentemente na estrutura cristalina das partículas minerais, e sua concentração é de 50 a 705 mg kg^{-1} de solo.

No estudo das relações entre as concentrações de potássio nas partes vegetativas do feijoeiro foram observados valores maiores de potássio nas hastes, tanto em relação às folhas, quanto as raízes. Resultado semelhante foi encontrado por Kikuti et al (2006), que trabalhando com a cultura do feijoeiro encontraram uma relação folhas:hastes, variando de 0,86 a 0,98.

Tabela 3.9 – Valores médios da concentração de potássio nas folhas, hastes e raízes, da cultura do feijoeiro e a relação entre elas (média de 5 repetições).

Tratamentos	Folhas	Hastes	Raízes	Relação		
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	F:H	F:R	H:R
1 Ta	12,28	17,85	7,02	0,69	1,75	2,54
2 Tr	10,18	15,10	10,64	0,67	0,96	1,42
3 NPK	12,80	18,47	3,76	0,69	3,40	4,91
4 NPK + Gram	16,91	30,76	18,73	0,55	0,90	1,64
5 NPK + Gram + Inoc	18,14	32,70	16,81	0,55	1,08	1,95
6 NPK + Est	21,88	36,71	15,80	0,60	1,38	2,32
7 NPK + Est + Inoc	25,81	34,08	15,14	0,76	1,70	2,25
8 PR	10,97	13,74	9,45	0,80	1,16	1,45
9 PR + Gram	15,27	26,59	11,80	0,57	1,29	2,25
10 PR + Gram + Inoc	14,05	27,33	16,86	0,51	0,83	1,62
11 PR + Est	25,74	30,43	15,75	0,85	1,63	1,93
12 PR + Est + Inoc	24,08	31,15	16,22	0,77	1,48	1,92
13 Aut	17,95	20,48	4,00	0,88	4,49	5,12
14 Aut + NPK	26,51	28,07	11,18	0,94	2,37	2,51
15 Aut + NPK + Gram	34,19	39,31	18,64	0,87	1,83	2,11
16 Aut + NPK + Gram + Inoc	30,81	46,50	19,50	0,66	1,58	2,38
CV	11,5 %	6,6 %	12,9 %	-	-	-
Pr > F	0,0001	0,0001	0,0001	-	-	-

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 significam que na variável estudada pelo menos um tratamento é superior aos demais.

Essa maior concentração de potássio nas hastes é explicada por Subbarao et al (2002), sendo que uma das funções do potássio é no transporte de longa distância, translocando sintetizados resultantes da fotossíntese pelo floema, como por exemplo, o transporte do malato das folhas para as raízes, e retorno às folhas pelo xilema associado a um ácido orgânico menos elaborado, e Vieira et al (2010) afirma que o potássio, juntamente com a sacarose, é o principal componente osmótico da seiva do floema.

Na tabela 3.10 estão dispostos o estudo de 20 contrastes ortogonais entre vários tratamentos, para as concentrações de potássio nas folhas, nas hastes e nas raízes da cultura do feijoeiro.

Tabela 3.10 – Estimativas dos contrastes ortogonais para as concentrações de potássio nas folhas, hastes e raízes da cultura do feijoeiro (média de 5 repetições).

Contrastes		Folhas		Hastes		Raízes	
		Estim.	Pr > F	Estim.	Pr > F	Estim.	Pr > F
$\hat{Y}_1 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Gram)	-4,12	0,006	-12,29	0,001	-14,97	0,001
$\hat{Y}_2 = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Gram + Inoc)	-1,22	0,401	-1,95	0,104	1,92	0,080
$\hat{Y}_3 = (\text{PR})$	vs. (PR + Gram)	-4,30	0,004	-12,85	0,001	-2,35	0,033
$\hat{Y}_4 = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	1,23	0,401	-0,74	0,530	-5,07	0,001
$\hat{Y}_5 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Est)	-9,09	0,001	-18,24	0,001	-12,04	0,001
$\hat{Y}_6 = (\text{NPK} + \text{Est})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	-3,93	0,008	2,63	0,029	0,66	0,543
$\hat{Y}_7 = (\text{PR})$	vs. (PR + Est)	-14,78	0,001	-16,69	0,001	-6,31	0,001
$\hat{Y}_8 = (\text{PR} + \text{Est})$	vs. (PR + Est + Inoc)	1,66	0,257	-0,72	0,541	-0,46	0,669
$\hat{Y}_9 = (\text{Aut} + \text{NPK})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	-7,68	0,001	-11,25	0,001	-7,46	0,001
$\hat{Y}_{10} = (\text{Aut} + \text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	3,37	0,023	-7,19	0,001	-0,87	0,425
$\hat{Y}_{11} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Est)	-4,97	0,001	-5,95	0,001	2,93	0,008
$\hat{Y}_{12} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	-7,67	0,001	-1,37	0,248	1,67	0,127
$\hat{Y}_{13} = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Est)	-10,47	0,001	-3,84	0,001	-3,96	0,001
$\hat{Y}_{14} = (\text{PR} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Est + Inoc)	-10,04	0,001	-3,82	0,001	0,65	0,551
$\hat{Y}_{15} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram)	1,64	0,261	4,17	0,008	6,93	0,001
$\hat{Y}_{16} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	4,09	0,006	5,37	0,001	-0,05	0,961
$\hat{Y}_{17} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	-17,27	0,001	-8,56	0,001	0,09	0,930
$\hat{Y}_{18} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	-12,68	0,001	-13,80	0,001	-2,69	0,015
$\hat{Y}_{19} = \text{Tratamentos com Inoc}$	vs. Tratamentos sem Inoc	-1,10	0,735	7,97	0,003	3,82	0,118
$\hat{Y}_{20} = \text{Tratamentos com NPK}$	vs. Tratamentos com PR	7,57	0,003	14,26	0,001	1,19	0,525

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado, Estim: estimativa

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 são considerados como contraste significativo.

Valor de estimativa positivo refere-se a 1ª coluna e negativo refere-se a 2ª coluna.

Os contrastes \hat{Y}_1 , \hat{Y}_3 e \hat{Y}_9 mostram que sempre que houve adição de gramíneas as concentrações de potássio nas folhas aumentaram, e da mesma forma nos contrastes \hat{Y}_5 e \hat{Y}_7 , houve aumento desses valores com adição de esterco bovino. No entanto, os contrastes \hat{Y}_{11} e \hat{Y}_{13} demonstram que o esterco bovino foi mais eficiente em relação à gramínea, e isto ocorreu devido à mineralização mais rápida no resíduo animal.

O inóculo microbiano foi capaz de aumentar a concentração de potássio somente quando combinada ao esterco bovino e ao adubo solúvel, não sendo eficiente quando combinada a gramínea e ao pó de rocha, como demonstrado no contraste \hat{Y}_6 e nos contrastes \hat{Y}_2 , \hat{Y}_4 , \hat{Y}_8 e \hat{Y}_{10} , respectivamente.

Avaliando de forma macro, o aumento das concentrações de potássio nas folhas está diretamente ligado a velocidade de solubilização e mineralização dos fertilizantes capazes de liberar potássio para a solução do solo e de forma geral, a presença do NPK favoreceu o aumento das concentrações de potássio nas folhas em relação a presença do pó de rocha.

Os contrastes para o estudo desses valores de potássio nas hastes apresentam as mesmas interações e tendências discutidas na variável folhas.

O estudo dos contrastes ortogonais mostra que as concentrações de potássio nas raízes responderam positivamente a presença tanto de gramínea (contrastos \hat{Y}_1 , \hat{Y}_3 e \hat{Y}_9) quanto de esterco bovino (contrastos \hat{Y}_5 e \hat{Y}_7). Mas na presença de NPK as melhores respostas foram quando houve interação com as gramíneas (contrastos \hat{Y}_{11}), enquanto que na presença do pó de rocha as melhores respostas foram nas interações com o esterco bovino (contrastos \hat{Y}_{13}).

As raízes manifestam um comportamento diferenciado em relação às hastes e as folhas. Pois a concentração no interior do órgão radicular não cresce junto com o aumento da solubilização e mineralização dos fertilizantes. Ocorre sim um equilíbrio entre a concentração interna e externa, Malavolta et al (1997), descreve esta função do potássio como regulador do potencial osmótico das células vegetais e do interior das raízes, favorecem do à absorção de sais e água.

A presença do inóculo não contribuiu para o aumento das concentrações de potássio nas raízes.

Na tabela 3.11 estão as médias do acúmulo de potássio nas folhas, hastes e raízes, e as relações entre elas. Em todos os tratamentos estudados o maior acúmulo do nutriente em questão foi obtido nas folhas, ao contrário da concentração que se deu nas hastes. Isto se deve a quantidade de tecido vegetal foliar ser maior que os dos demais órgãos estudados.

O tratamento 5 (NPK + gramínea + inóculo microbiano) foi o que mais acumulou potássio, cerca de 70 mg, equivalente a 28,3 kg ha⁻¹ de K.

O tratamento 15 foi que mais acumulou potássio nas folhas (45,45 mg) cerca de 230 % a mais que a testemunha relativa (10,65 mg), efeito da forte ação térmica da autoclavagem.

Somando-se a contribuição do cloreto de potássio presente no NPK, mais a gramínea e o inóculo microbiano, foram adicionados ao solo do tratamento 5 cerca de 460 mg de K, e a diferença entre o Trat 5 e Tr é cerca de 50 mg de K. Esta diferença representa um aproveitamento de 11 % do K aplicado nas formas orgânicas e minerais. Os 89 % restantes estão adsorvidos nas cargas negativas do solo, visto nos nossos solos tropicais não ocorrem fixação de K nas argilas (Ermani et al, 2007).

Tabela 3.11 – Valores médios de acúmulo de potássio nas folhas, hastes e raízes, da cultura do feijoeiro e a relação entre elas (média de 5 repetições).

Tratamentos	Folhas	Hastes	Raízes	Relação		
	mg	mg	mg	F:H	F:R	H:R
1 Ta	12,43	4,98	2,55	2,50	4,87	1,95
2 Tr	10,65	5,61	5,71	1,90	1,87	0,98
3 NPK	17,64	9,68	3,04	1,82	5,80	3,18
4 NPK + Gram	30,07	20,36	12,04	1,48	2,50	1,69
5 NPK + Gram + Inoc	33,54	23,41	13,85	1,43	2,42	1,69
6 NPK + Est	35,64	19,69	8,29	1,81	4,30	2,38
7 NPK + Est + Inoc	41,35	18,49	6,32	2,24	6,54	2,93
8 PR	11,53	5,91	4,88	1,95	2,36	1,21
9 PR + Gram	21,01	15,56	5,82	1,35	3,61	2,67
10 PR + Gram + Inoc	24,01	17,09	6,73	1,40	3,57	2,54
11 PR + Est	41,59	13,66	8,02	3,04	5,19	1,70
12 PR + Est + Inoc	35,21	16,38	9,12	2,15	3,86	1,80
13 Aut	16,49	6,08	1,40	2,71	11,78	4,34
14 Aut + NPK	43,18	7,39	3,63	5,84	11,90	2,04
15 Aut + NPK + Gram	45,45	10,10	3,00	4,50	15,15	3,37
16 Aut + NPK + Gram + Inoc	40,63	13,36	3,77	3,04	10,78	3,54
CV	32,4 %	21,2 %	26,2%	-	-	-
Pr > F	0,0001	0,0001	0,0001	-	-	-

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 significam que na variável estudada pelo menos um tratamento é superior aos demais.

4 – Estudo do cálcio

Na tabela 3.12 estão as concentrações em g kg^{-1} de cálcio nas folhas, hastes e raízes, e as relações entre elas.

Os tratamentos NPK+ gramínea + inóculo microbiano (Trat 5) e pó de rocha (Trat 8) proporcionaram as maiores concentrações de cálcio nas folhas de feijoeiro ($35,55$ e $35,57 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente), cerca de 64 % acima do valor da testemunha relativa ($21,71 \text{ g kg}^{-1}$).

Segundo Ribeiro et al (1999) as concentrações adequadas de cálcio nas folhas de feijoeiro variam de 25 a 35 g kg^{-1} de massa seca. Suas principais funções são de constituinte membrana celular, estímulo ao crescimento das raízes, e contribuir para diversos processos metabólicos. E nas leguminosas possui especial papel na formação dos nódulos e no enchimento dos grãos (VITTI et al, 2006).

Todos os tratamentos deste experimento apresentaram concentrações acima do intervalo acima citado, com exceção da testemunhas e dos tratamentos com solo autoclavado (Trat 15 e 16). Em relação as testemunhas este comportamento se deve as características originais do solo, que possuía uma concentração de $0,30 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, valor considerado muito baixo para os padrões dos solos tropicais brasileiros, cuja faixa ideal esta entre 2,4 a $4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ (RIBEIRO et al, 1999). E para a testemunha absoluta não foi utilizado o calcário, caracterizando a falta de adição do nutriente, e na testemunha relativa, a presença do calcário e omissão de outros adubos, pode ter criado uma competição pelo cálcio entre a planta e as cargas negativas do solo. Entretanto, nos tratamentos com solo autoclavado (Trat 15 e 16), o tratamento térmico e a presença das gramíneas pode ter imobilizado o cálcio e outros nutrientes do solo, competido com planta, uma vez que a concentração de cálcio na gramínea era de 3 g kg^{-1} e a biomassa microbiana pode acumular até 11 kg ha^{-1} deste nutriente (ANDREOLA e FERNANDES, 2007)

Nas hastes a maior concentração de cálcio foi encontrado na testemunha relativa ($24,49 \text{ g kg}^{-1}$) e o menor no tratamento solo autoclavado + NPK ($10,73 \text{ g kg}^{-1}$), diferença de 128 %. Este comportamento tem relação inversa com a concentração potássio neste mesmo órgão, nos solos autoclavado houve maiores concentrações de potássio, e nas testemunhas os valores foram menores. Vitti et

al (2006) explicam que a absorção dos cátions pela planta depende do equilíbrio entre o NH_4^+ e as bases na solução do solo.

Nas raízes a maior concentração foi proporcionada pelo tratamento 4, composto de NPK + gramínea ($14,42 \text{ g kg}^{-1}$) cerca de 40 % maior que a testemunha relativa ($10,32 \text{ g kg}^{-1}$). Neste órgão o cálcio tem a função de promover o alongamento e a presença da gramínea, melhorando a física do solo favoreceu o crescimento das radículas, uma vez que o acesso do cálcio até as raízes é preferencialmente por fluxo de massa e interceptação radicular.

Tabela 3.12 – Valores médios da concentração de cálcio nas folhas, hastes e raízes, da cultura do feijoeiro e a relação entre elas (média de 5 repetições).

Tratamentos	Folhas	Hastes	Raízes	Relação		
	g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	F:H	F:R	H:R
1 Ta	24,32	13,90	10,54	1,75	2,31	1,32
2 Tr	21,71	24,49	10,32	0,89	2,10	2,37
3 NPK	31,40	14,53	2,65	2,16	11,87	5,49
4 NPK + Gram	32,59	16,81	14,42	1,94	2,26	1,17
5 NPK + Gram + Inoc	35,55	14,89	11,64	2,39	3,05	1,28
6 NPK + Est	30,47	16,36	12,35	1,86	2,47	1,33
7 NPK + Est + Inoc	31,55	19,11	12,91	1,65	2,44	1,48
8 PR	35,57	15,06	13,88	2,36	2,56	1,08
9 PR + Gram	26,10	16,01	13,02	1,63	2,00	1,23
10 PR + Gram + Inoc	32,57	15,35	12,25	2,12	2,66	1,25
11 PR + Est	28,42	16,82	11,99	1,69	2,37	1,40
12 PR + Est + Inoc	28,29	19,57	9,71	1,45	2,91	2,02
13 Aut	29,11	13,66	2,50	2,13	11,64	5,46
14 Aut + NPK	29,58	10,73	10,11	2,76	2,93	1,06
15 Aut + NPK + Gram	22,11	13,33	13,66	1,66	1,62	0,98
16 Aut + NPK + Gram + Inoc	21,50	10,86	10,62	1,98	2,03	1,02
CV	13,0	13,1	11,5	-	-	-
Pr > F	0,0001	0,0001	0,0001	-	-	-

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de $\chi^2 > F$ iguais ou inferiores a 0,05 significam que na variável estudada pelo menos um tratamento é superior aos demais.

Em todos os tratamentos, com exceção do 2 e 15, as maiores concentrações de cálcio estão nas folhas, seguidos das hastes e das raízes. A esse respeito, Miranda et al (2010) trabalhando com omissão de nutrientes em feijão-de-corda conclui que nas folhas, a deficiência do cálcio é a primeira a

ocorrer, e que este nutrientes foi o que mais limitou os desenvolvimento das plantas.

Na tabela 3.13 estão dispostos o estudo de 20 contrastes ortogonais entre vários tratamentos, para as concentrações de cálcio nas folhas, nas hastes e nas raízes da cultura do feijoeiro.

Nos contrastes \hat{Y}_3 , \hat{Y}_7 e \hat{Y}_9 verifica-se o efeito negativo da presença do material orgânico (gramínea e esterco bovino) associado ao pó de rocha ou ao NPK em solo autoclavado, quanto a sua contribuição na concentração de cálcio nas folhas. Mas com a presença do inóculo microbiano interagindo com a gramínea e o pó de rocha (contrastos \hat{Y}_4), a absorção de cálcio e sua assimilação nas folhas foram acrescidas. Isto ocorre devido a imobilização durante a decomposição do material orgânico, e com a aceleração deste processo pela ação do inóculo microbiano a oferta de cálcio na solução do solo é maximizada. Fernandez et al (2009) trabalhando com diversos restos vegetais em cobertura na cultura do feijoeiro obtiveram resultados semelhantes, decréscimo de cerca de 90% do cálcio disponível na solução do solo aos comparar a utilização de capim braquiaria versus feijão guandu adubados com silicato de cálcio.

No contraste \hat{Y}_{15} o NPK foi mais eficiente do que o pó de rocha ao interagir com a gramínea, para disponibilizar cálcio para o feijoeiro, aumentando seus valores foliares. O fator solubilidade dos nutrientes tem fundamental importância no manejo de culturas de ciclo curto, que necessitam de resposta rápida ao manejo utilizado. Esta disponibilidade de nutrientes pode ser alcançada ao focar no tipo de adubo mineral, na relação C:N dos restos vegetais e na população microbiana nativa do solo ou inoculada com o objetivo de acelerar os processos de decomposição e inibir o desenvolvimento de microorganismos patogênicos.

No contraste \hat{Y}_{17} e \hat{Y}_{18} o processo de autoclavar o solo resultou na indisponibilização do cálcio no solo. Porque com o aquecimento o Ca_2^+ presente na solução do solo foi complexado formando um sal que precipita. Esta reação é explicado pelo o princípio de Le Chatelier, no qual um deslocamento do equilíbrio no sentido de minimizar a perturbação favorece a reação inversa, levando à precipitação do sal formado (SALDANHA, 2010).

Tabela 3.13 – Estimativas dos contrastes ortogonais para as concentrações de cálcio nas folhas, hastes e raízes da cultura do feijoeiro (média de 5 repetições).

Contrastes		Folhas		Hastes		Raízes	
		Estim.	Pr > F	Estim.	Pr > F	Estim.	Pr > F
$\hat{Y}_1 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Gram)	-1,18	0,620	-2,28	0,086	-11,77	0,001
$\hat{Y}_2 = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Gram + Inoc)	-2,96	0,215	1,92	0,146	2,78	0,001
$\hat{Y}_3 = (\text{PR})$	vs. (PR + Gram)	9,48	0,001	-0,95	0,468	0,86	0,275
$\hat{Y}_4 = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	-6,47	0,008	0,66	0,615	0,78	0,325
$\hat{Y}_5 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Est)	0,94	0,693	-1,83	0,166	-9,70	0,001
$\hat{Y}_6 = (\text{NPK} + \text{Est})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	-1,08	0,649	-2,74	0,039	-0,56	0,477
$\hat{Y}_7 = (\text{PR})$	vs. (PR + Est)	7,16	0,003	-1,77	0,181	1,89	0,018
$\hat{Y}_8 = (\text{PR} + \text{Est})$	vs. (PR + Est + Inoc)	0,13	0,956	-2,74	0,039	2,29	0,004
$\hat{Y}_9 = (\text{Aut} + \text{NPK})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	7,47	0,002	-2,60	0,051	-3,56	0,001
$\hat{Y}_{10} = (\text{Aut} + \text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	0,61	0,797	2,47	0,063	3,05	0,001
$\hat{Y}_{11} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Est)	2,12	0,374	0,45	0,732	2,07	0,010
$\hat{Y}_{12} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	4,00	0,096	-4,22	0,002	-1,27	0,110
$\hat{Y}_{13} = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Est)	-2,32	0,331	-0,81	0,536	1,03	0,192
$\hat{Y}_{14} = (\text{PR} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Est + Inoc)	4,28	0,075	-4,22	0,002	2,54	0,001
$\hat{Y}_{15} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram)	6,49	0,008	0,80	0,540	1,40	0,079
$\hat{Y}_{16} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	2,98	0,213	-0,46	0,727	-0,61	0,441
$\hat{Y}_{17} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	10,48	0,001	3,49	0,009	0,76	0,337
$\hat{Y}_{18} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	14,05	0,001	4,03	0,003	1,03	0,194
$\hat{Y}_{19} = \text{Tratamentos com Inoc}$	vs. Tratamentos sem Inoc	9,78	0,069	0,44	0,882	-8,33	0,001
$\hat{Y}_{20} = \text{Tratamentos com NPK}$	vs. Tratamentos com PR	5,30	0,201	-0,17	0,939	-10,45	0,001

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado, Estim: estimativa

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 são considerados como contraste significativo.

Valor de estimativa positivo refere-se a 1ª coluna e negativo refere-se a 2ª coluna.

O comportamento das concentrações de cálcio nas hastes é semelhante ao encontrado para as folhas. Nos contrastes \hat{Y}_6 e \hat{Y}_8 a presença do inóculo microbiano junto com o esterco de bovino, seja conjugado ao NPK ou ao pouco solúvel, aumentou as concentrações de cálcio nas hastes. A ação dos microorganismos produzindo ácidos orgânicos, exudatos e acelerando a decomposição do material orgânico disponibilizou maior quantidade de cálcio na solução do solo.

Nos contrastes \hat{Y}_{12} e \hat{Y}_{14} a presença do esterco bovino foi mais eficiente do que a gramínea, tanto com o NPK quanto com o pó de rocha, aumentando as concentrações de cálcio nas hastes. Isto devido a maior velocidade de liberação dos nutrientes ocorrida no esterco.

No contraste \hat{Y}_{17} e \hat{Y}_{18} o processo de autoclavar o solo resultou na indisponibilização do cálcio no solo, formando sais pouco solúveis (SALDANHA, 2010).

O comportamento das concentrações de cálcio nas raízes é totalmente oposto ao observado nas folhas e haste, percebe-se que nos tratamentos cuja solubilidade é menor há uma maior concentração na raiz do nutriente cálcio.

Nos contrastes \hat{Y}_1 e \hat{Y}_5 a presença do material orgânico associado ao NPK aumentou as concentrações de cálcio nas raízes.

A presença do inóculo microbiano reduziu as concentrações radiculares do cálcio (contrastos \hat{Y}_2 , \hat{Y}_8 , \hat{Y}_{10} e \hat{Y}_{19})

O esterco bovino reduziu as concentrações de cálcio nas raízes nas seguintes situações: ao se adicionado ao pó de rocha (contrastos \hat{Y}_7); ao substituir a gramínea, associado ao NPK (contrastos \hat{Y}_{11}); e ao substituir a gramínea, associado ao pó de rocha + o inóculo microbiano (contrastos \hat{Y}_{14}).

No contraste \hat{Y}_{12} a presença do esterco bovino foi mais eficiente do que a gramínea, associado ao NPK+ inóculo, aumentando as concentrações de cálcio nas hastes. Isto devido a maior velocidade de liberação dos nutrientes ocorrida no esterco.

No contraste \hat{Y}_9 a gramínea associado ao NPK em solo autoclavado aumentou as concentrações de cálcio nas raízes e de forma geral, a presença do NPK foi menos eficiente do que a pó de rocha na tentativa de aumentar as concentrações radiculares deste nutriente (contrastos \hat{Y}_{20}).

Na tabela 3.14 estão as médias do acúmulo de cálcio nas folhas, hastes e raízes, e as relações entre elas. Com o cálculo da média de todos os tratamentos, até a colheita do experimento (33 dias após o plantio), a cultura exportou cerca de 27 kg do nutriente por hectare, e Haag et al (1967), também trabalhando com feijão, até os 30 dias, as plantas extraíram do solo cerca de 16 kg ha^{-1} de Ca^{2+} .

Em todos os tratamentos estudados o maior acúmulo do nutriente em questão foi obtido nas folhas, justificado pela maior quantidade de massa seca neste órgão e por ser neste órgão que ocorrem a maioria das reações de síntese. Podemos destacar os tratamentos com a presença do inóculo, por terem um valor nominal de acúmulo na folha maior que os demais tratamentos. O tratamento 5 (NPK+ gramínea + inóculo microbiano) cujo acúmulo de cálcio na planta foi de 86,7 mg, valor 168 % além do obtido pela testemunha absoluta que acumulou 32,2 mg, confirmando a importância estrutural e metabólica do cálcio para a cultura do feijoeiro.

Somando-se a contribuição do calcário dolomítico, mais a gramínea e o inóculo microbiano, foram adicionados ao solo do tratamento 5 cerca de 755 mg de Ca, e a diferença entre o Trat 5 e Ta é cerca de 55 mg de P. Esta diferença representa um aproveitamento de 7,2 % do Ca aplicado nas formas orgânicas e minerais. Os 92,8 % restantes estão disponíveis no solo, como efeito residual.

Tabela 3.14 Valores médios de acúmulo de cálcio nas folhas, hastes e raízes, da cultura do feijoeiro e a relação entre eles (média de 5 repetições).

Tratamentos	Folhas	Hastes	Raízes	Relação		
	mg	mg	mg	F/H	F/R	H/R
1 Ta	24,64	3,84	3,78	6,42	6,52	1,02
2 Tr	22,76	9,28	5,55	2,45	4,10	1,67
3 NPK	43,00	7,62	2,15	5,65	19,99	3,54
4 NPK + Gram	58,91	11,18	9,26	5,27	6,36	1,21
5 NPK + Gram + Inoc	66,56	10,64	9,52	6,25	7,00	1,12
6 NPK + Est	49,38	8,79	6,45	5,62	7,66	1,36
7 NPK + Est + Inoc	50,13	10,36	5,39	4,84	9,31	1,92
8 PR	36,56	6,48	7,33	5,64	4,98	0,88
9 PR + Gram	37,02	9,34	7,00	3,96	5,29	1,33
10 PR + Gram + Inoc	55,64	9,57	4,88	5,81	11,40	1,96
11 PR + Est	45,56	7,54	6,04	6,04	7,55	1,25
12 PR + Est + Inoc	41,60	10,31	5,46	4,04	7,63	1,89
13 Aut	26,93	4,03	0,92	6,69	29,38	4,39
14 Aut + NPK	47,12	2,83	3,33	16,63	14,17	0,85
15 Aut + NPK + Gram	29,66	3,44	2,24	8,62	13,26	1,54
16 Aut + NPK + Gram + Inoc	28,33	3,11	2,03	9,10	13,96	1,53
CV	27,9	25,4	27,7	-	-	-
Pr > F	0,0001	0,0001	0,0001	-	-	-

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; NPK: adubo solúvel; Gram: gramínea; Inoc : inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado.

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 significam que na variável estuda pelo menos um tratamento é superior aos demais.

5 – Estudo do magnésio

Na tabela 3.15 estão as concentrações em g kg^{-1} de magnésio nas folhas, hastes e raízes, e as relações entre elas.

O tratamento NPK + esterco bovino + inóculo microbiano (Trat 7), proporcionou a maior concentração de magnésio nas folhas de feijoeiro ($20,04 \text{ g kg}^{-1}$), cerca de 35 % acima do valor da testemunha relativa ($14,91 \text{ g kg}^{-1}$).

Segundo Malavolta et al (1997) as concentrações adequadas de magnésio nas folhas de feijoeiro variam de 4 a 7 g kg^{-1} de massa seca e as principais funções são de constituinte da clorofila e ativação enzimática em diversas reações metabólicas por toda a planta. Todos os tratamentos deste experimento apresentaram valores acima do intervalo citado, e isto se correlaciona com as características originais do solo, que possuía uma concentração de $0,82 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, valor considerado regular para os padrões dos solos tropicais brasileiros (RIBEIRO et al, 1999), cuja faixa ideal está entre 5 a $10 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ (OLIVEIRA et al, 2000).

Nas literaturas, não existem relatos de toxidez deste nutriente, pois, antes que no tecido haja o nível de toxidez, a deficiência induzida de potássio irá ocorrer, e poderá causar danos oxidativos no interior das células, danificando-as. Níveis mais altos de Magnésio podem ser encontrados nas folhas mais velhas e podem ser associados com folhas doentes e, ou danificadas (SPECTRUM ANALITIC, 2011).

Nas hastes a maior concentração de magnésio foi encontrada na testemunha relativa com $14,75 \text{ g kg}^{-1}$ e o menor no tratamento com solo autoclavado + NPK (Trat 14), com $9,41 \text{ g kg}^{-1}$, diferença de 42 %. E nas raízes o maior valor foi proporcionado pelo tratamento com solo autoclavado + NPK + gramínea (Trat 15) com $9,41 \text{ g kg}^{-1}$ enquanto que a menor concentração foi obtida no tratamento com solo autoclavado (Trat 13) com $2,55 \text{ g kg}^{-1}$. Nestes dois órgãos vegetais, os comportamentos as concentrações de magnésio não são coerentes com os tratamentos ministrados.

Em todos os tratamentos, com exceção do 1, 15 e 16, os maiores valores de magnésio estão nas folhas, seguidos das hastes e das raízes.

Vitti et al (2006) afirma que cerca de 6 a 25 % do magnésio faz parte da clorofila e os demais estão envolvidos em reação enzimáticas ou na forma de sais

solúveis nos vacúolos. As concentrações de magnésio estão distribuídas de maneira uniforme pelos órgãos vegetativos das plantas, e de maneira geral as concentrações são maiores nas folhas.

Tabela 3.15 – Valores médios da concentração de magnésio nas folhas, hastes e raízes da cultura do feijoeiro e a relação entre eles (média de 5 repetições).

Tratamentos	Folhas	Hastes	Raízes	Relação		
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	F:H	F:R	H:R
1 Ta	11,78	12,67	11,18	0,93	1,05	1,13
2 Tr	14,91	14,75	6,66	1,01	2,24	2,22
3 NPK	19,71	11,31	3,45	1,74	5,72	3,28
4 NPK + Gram	16,66	10,95	10,04	1,52	1,66	1,09
5 NPK + Gram + Inoc	17,63	10,21	9,21	1,73	1,92	1,11
6 NPK + Est	16,10	10,69	9,53	1,51	1,69	1,12
7 NPK + Est + Inoc	20,04	13,99	9,46	1,43	2,12	1,48
8 PR	14,77	12,90	9,95	1,15	1,48	1,30
9 PR + Gram	13,19	10,73	8,38	1,23	1,57	1,28
10 PR + Gram + Inoc	14,46	11,01	9,99	1,31	1,45	1,10
11 PR + Est	16,97	12,28	8,58	1,38	1,98	1,43
12 PR + Est + Inoc	18,18	12,89	7,87	1,41	2,31	1,64
13 Aut	14,71	13,23	2,55	1,11	5,76	5,18
14 Aut + NPK	13,03	9,41	9,17	1,38	1,42	1,03
15 Aut + NPK + Gram	12,62	11,84	12,07	1,07	1,05	0,98
16 Aut + NPK + Gram + Inoc	12,03	12,97	8,59	0,93	1,40	1,51
CV	13,7	11,0	13,8	-	-	-
Pr > F	0,0001	0,0001	0,0001	-	-	-

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; NPK: adubo solúvel; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado. Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 significam que na variável estudada pelo menos um tratamento é superior aos demais.

Na tabela 3.16 estão dispostos o estudo de 20 contrastes ortogonais entre vários tratamentos, para as concentrações de magnésio nas folhas, nas hastes e nas raízes da cultura do feijoeiro.

Os contrastes \hat{Y}_1 e \hat{Y}_{13} retratam o efeito negativo da presença da gramínea quanto a sua contribuição na concentração de magnésio nas folhas. O esterco bovino quando associado ao NPK (contraste \hat{Y}_5) inibiu a absorção do nutriente em estudo, mas quando associado ao pó de rocha, seja na ausência ou presença do inóculo (respectivamente contraste \hat{Y}_{13} e \hat{Y}_{14}) o seu efeito foi benéfico, aumentando os valores da folha. E nos contrastes \hat{Y}_{15} e \hat{Y}_{16} e \hat{Y}_{20} o efeito do NPK foi superior aos do pó de rocha. Souza et al (2007) afirmam que este nutriente é

absorvido na forma iônica Mg^{2+} , preferencialmente por interceptação radicular ou fluxo de massa, e esta absorção depende do equilíbrio entre as concentrações de Ca^{2+} e K^+ na solução do solo. Neste contexto a baixa solubilidade do pó de rocha e a alta solubilidade do esterco bovino e do NPK se interagem alterando estas concentrações na solução do solo e o equilíbrio entre os três nutrientes.

Tabela 3.16 – Estimativas dos contrastes ortogonais para as concentrações de magnésio nas folhas, hastes e raízes da cultura do feijoeiro (média de 5 repetições).

Contrastes		Folhas		Hastes		Raízes	
		Estim.	Pr > F	Estim.	Pr > F	Estim.	Pr > F
$\hat{Y}_1 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Gram)	3,05	0,025	0,36	0,669	-6,59	0,001
$\hat{Y}_2 = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Gram + Inoc)	-0,97	0,469	0,75	0,374	0,83	0,267
$\hat{Y}_3 = (\text{PR})$	vs. (PR + Gram)	1,58	0,240	2,17	0,011	1,57	0,039
$\hat{Y}_4 = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	-1,27	0,343	-0,28	0,740	-1,61	0,034
$\hat{Y}_5 = (\text{NPK})$	vs. (NPK + Est)	3,60	0,008	0,62	0,462	-6,08	0,001
$\hat{Y}_6 = (\text{NPK} + \text{Est})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	-3,94	0,004	-3,29	0,001	0,06	0,935
$\hat{Y}_7 = (\text{PR})$	vs. (PR + Est)	-2,20	0,104	0,62	0,461	1,37	0,070
$\hat{Y}_8 = (\text{PR} + \text{Est})$	vs. (PR + Est + Inoc)	-1,21	0,369	-0,61	0,468	0,71	0,347
$\hat{Y}_9 = (\text{Aut} + \text{NPK})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	0,41	0,760	-2,43	0,005	-2,90	0,001
$\hat{Y}_{10} = (\text{Aut} + \text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	0,59	0,658	-1,12	0,184	3,47	0,001
$\hat{Y}_{11} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (NPK + Est)	0,56	0,677	0,26	0,756	0,51	0,493
$\hat{Y}_{12} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (NPK + Est + Inoc)	-2,41	0,075	-3,78	0,001	-0,26	0,728
$\hat{Y}_{13} = (\text{PR} + \text{Gram})$	vs. (PR + Est)	-3,78	0,006	-1,55	0,068	-0,20	0,788
$\hat{Y}_{14} = (\text{PR} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Est + Inoc)	-3,71	0,007	-1,88	0,028	2,12	0,006
$\hat{Y}_{15} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (PR + Gram)	3,47	0,011	0,23	0,788	1,66	0,029
$\hat{Y}_{16} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (PR + Gram + Inoc)	3,17	0,020	-0,80	0,341	-0,78	0,298
$\hat{Y}_{17} = (\text{NPK} + \text{Gram})$	vs. (Aut + NPK + Gram)	4,04	0,003	-0,89	0,291	-2,03	0,008
$\hat{Y}_{18} = (\text{NPK} + \text{Gram} + \text{Inoc})$	vs. (Aut + NPK + Gram + Inoc)	5,60	0,001	-2,76	0,001	0,61	0,415
$\hat{Y}_{19} = \text{Tratamentos com Inoc}$	vs. Tratamentos sem Inoc	6,80	0,026	4,56	0,017	-3,46	0,041
$\hat{Y}_{20} = \text{Tratamentos com NPK}$	vs. Tratamentos com PR	11,58	0,001	-2,16	0,140	-5,62	0,001

Ta: testemunha absoluta; Tr: testemunha relativa; Gram: gramínea; Inoc: inóculo microbiano; Est: esterco bovino; PR: pó de rocha; Aut: solo autoclavado, Estim: estimativa

Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 são considerados como contraste significativo.

Valor de estimativa positivo refere-se a 1ª coluna e negativo refere-se a 2ª coluna.

O inóculo microbiano interagindo com o NPK e o esterco bovino (contraste \hat{Y}_6) ou de modo geral agrupando todos os tratamentos (contraste \hat{Y}_{19}) influenciou positivamente no aumento dos valores de magnésio nas folhas dos feijoeiros.

Nas hastes o contraste \hat{Y}_3 denota o efeito negativo da presença da gramínea quanto associada ao pó de rocha, mas nos contrastes \hat{Y}_9 a gramínea teve efeito positivo ao interagir com o NPK em solo. E nos contrastes \hat{Y}_{12} e \hat{Y}_{13} , o esterco bovino tem maior capacidade de elevar os valores de magnésio do que a gramínea, seja associada ao NPK ou ao pó de rocha, respectivamente, mas em ambos com a presença do inóculo microbiano.

O inóculo microbiano foi eficiente em aumentar as concentrações de magnésio nas hastes quando interagiu com o esterco bovino e o NPK (contrastos \hat{Y}_6) e de modo geral quando agrupamos todos os tratamentos com presença do inóculo (contraste \hat{Y}_{19}). Característica idêntica foi manifestada nas folhas, e isto se deve ao equilíbrio entre os valores de Ca^{2+} e K^+ na solução do solo (SOUZA et al, 2007).

No estudo das raízes, os contrastos \hat{Y}_1 e \hat{Y}_9 retratam o efeito positivo da presença da gramínea quanto associada ao NPK seja no solo natural ou no solo autoclavado, enquanto que associado ao pó de rocha seu efeito é negativo (contrastos \hat{Y}_3), semelhante ao comportamento nas hastes. Mas ao se adicionar o inóculo microbiano a este tratamento (contrastos \hat{Y}_4), a ação deste foi capaz de aumentar as suas concentrações. No entanto quando a gramínea esta associada ao inóculo microbiano e ao pó de rocha, a sua ação é mais efetiva do que o esterco bovino, como demonstrado no contrastos \hat{Y}_{14} . A avaliação deste contraste sugere que o inóculo é mais eficiente quando esta associado a gramínea, provavelmente por ser um material vegetal cru, os microrganismos se desenvolvem com mais eficiência, produzindo exudatos e ácidos orgânicos que interagem com os demais constituintes do solo, solubilizando os nutrientes.

No contraste \hat{Y}_5 a presença do esterco bovino associado ao adubo solúvel, aumentou as concentrações de magnésio nas raízes e de modo geral a presença do NPK incrementou as concentrações do referido nutriente (contrastos \hat{Y}_{20}).

O contraste \hat{Y}_{19} mostra que de modo geral o inóculo não foi capaz de incrementar as concentrações de magnésio nas raízes.

Na tabela 3.17 estão as médias do magnésio acumulado nas folhas, hastes e raízes, e as relações entre elas. Com o cálculo da média de todos os tratamentos, até a colheita do experimento (33 dias após o plantio), a cultura exportou cerca de 14 kg do nutriente por hectare, e segundo Raij (1991), a maioria das culturas exporta cerca de 10 a 40 kg ha^{-1} de Mg^{2+} .

Em todos os tratamentos estudados o maior acúmulo do nutriente em questão foi obtido nas folhas, justificado pela presença da clorofila e pela maior quantidade de massa seca neste órgão. Podemos destacar que os tratamentos com a presença do inóculo possuem um valor nominal de acúmulo na folha superior aos demais. Exemplificando, o tratamento 5 (NPK+ gramínea + inóculo microbiano) obteve o maior acúmulo de magnésio nas plantas, com 47,5 mg,

valor 144 % além da testemunha absoluta que acumulou 19,4 mg, sinalizando para uma maior atividade fotossintética da plantas.

Somando-se a contribuição do calcário dolomítico, mais a gramínea e o inóculo microbiano, foram adicionados ao solo do tratamento 5 cerca de 350 mg de Mg, e a diferença entre o Trat 5 e Ta é cerca de 28 mg de P. Esta diferença representa um aproveitamento de 8 % do Mg aplicado nas formas orgânicas e minerais. Os 92 % restantes estão disponíveis no solo, como efeito residual.

Tabela 3.17 – Valores médios do magnésio acumulado nas folhas, hastes e raízes da cultura do feijoeiro e a relação entre eles (média de 5 repetições).

Tratamentos	Folhas	Hastes	Raízes	Relação		
	mg	mg	mg	F:H	F:R	H:R
1 Ta	11,83	3,55	4,03	3,34	2,94	0,88
2 Tr	15,46	5,46	3,59	2,83	4,31	1,52
3 NPK	26,63	5,91	2,79	4,51	9,55	2,12
4 NPK + Gram	29,87	7,28	6,44	4,10	4,63	1,13
5 NPK + Gram + Inoc	32,62	7,31	7,53	4,46	4,33	0,97
6 NPK + Est	26,06	5,79	4,99	4,50	5,22	1,16
7 NPK + Est + Inoc	31,42	7,55	3,95	4,16	7,95	1,91
8 PR	14,97	5,54	5,13	2,70	2,92	1,08
9 PR + Gram	18,64	6,37	4,10	2,93	4,54	1,55
10 PR + Gram + Inoc	24,71	6,87	3,97	3,60	6,22	1,73
11 PR + Est	27,38	5,50	4,36	4,98	6,29	1,26
12 PR + Est + Inoc	26,74	6,76	4,43	3,96	6,04	1,53
13 Aut	13,51	3,90	0,96	3,46	14,05	4,06
14 Aut + NPK	21,08	2,49	3,00	8,45	7,02	0,83
15 Aut + NPK + Gram	16,79	3,06	1,98	5,49	8,48	1,54
16 Aut + NPK + Gram + Inoc	15,56	3,76	1,66	4,14	9,40	2,27
CV	25,9	24,0	23,9	-	-	-
□r > F	0,0001	0,0001	0,0001	-	-	-

Ta : testemunha absoluta; Tr : testemunha relativa; NPK : adubo solúvel; Gram : gramínea; Inoc : inóculo microbiano; Est : esterco bovino; PR : pó de rocha; Aut : solo autoclavado. Valores de Pr > F iguais ou inferiores a 0,05 significam que na variável estuda pelo menos um tratamento é superior aos demais.

CONCLUSÕES

A presença do inóculo microbiano quando associado a gramínea favoreceu o aumento dos teores de fósforo, cálcio e magnésio nas folhas, hastes e raízes do feijoeiro, e teve pouca influência na absorção de nitrogênio e potássio.

A gramínea triturada teve melhor interação com o NPK e o esterco bovino melhor interação com o pó de rocha, incrementando a absorção de fósforo, cálcio e magnésio.

O NPK foi mais eficiente que o pó de rocha no aumento dos teores de fósforo e magnésio nas folhas, cálcio nas raízes e potássio por toda a planta.

O tratamento 5 com a interação do NPK, gramínea e inóculo microbiano foi o que acumulou as maiores quantidades de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

O método de fertilização do solo utilizado no experimento foi pouco eficiente, com aproveitamento de menos de 10 % dos nutrientes disponibilizados pelos fertilizantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, F. A., NETO, A. E. F., PAULA, M. B., MESQUITA, H. A. e MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-escuro degradado. **Pesq. Agropec. □□ãs.**, Brasília, v.35, n.2, p.277-288, fev. 2000.

ANDREOLA, F. e FERNANDES, S. A. A Microbiota do Solo na Agricultura Orgânica e no Manejo das Culturas in: **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Ed Silveira, A. P.D. e Freitas, S.S. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. p 21 – 38

ARAÚJO, A. P. e MACHADO, C. T. L., Fósforo in: **Nutrição mineral de plantas**, Ed por Manilo Silvestre Fernandes. Viçosa, MG, 2006. P 355 – 374

BÔER, C. A., ASSIS, R. L., SILVA G. P., BRAZ, A. J. B. P., BARROSO, A. L. L., FILHO, A. C., PIRES, F. R., Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesq. Agropec. □□ãs.**, Brasília, v.42, n.9, p.1269-1276, set. 2007.

CANTARELLA, H. NITROGÊNIO. In: **Fertilidade do Solo**, Eds Novais et al. Viçosa, MG 2007. P 375 – 470.

CHABOUSSOU, F. **Les Plantes Malades 88ês Pesticides**. Paris: Editions Débard, 1980. 265p.

CHAGAS, P.P.R., et al, Efficiency of lime-sulfur in teh control of mite im papaya in conventional and organic(Bokashi-EM) systems.(In Press). Sixth International Conference on Kyusei Nature Farming. October 28-31, 1999. **Proceedings on Kyusei Nature Farming and Effecitve Microorganisms for Agricultural and Enviromental Sustainability**. Pretoria. South Afrúca. Ed. Senannayabe, Y.D.^a; U.R. Sangakkara, APNAN, Thailand.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, primeiro levantamento, outubro 2010** DISPONIVEL EM: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploNPK/arquivos/cbf8301eaaea56db7b9729da294d1e6a..pdf>, ACESSADO EM 01/02/2011

ERNANI, P. R., ALMEIDA, J. A. E SANTOS, F. C. Potássio. In: **Fertilidade do Solo**, Eds Novais et al. Viçosa, MG 2007. P 551 – 594

FERNANDEZ, FABIANA APARECIDA ET AL . Influência de silicato e calcário na decomposição de resíduos culturais e disponibilidade de nutrientes ao feijoeiro. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 33, n. 4, ago. 2009 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000400018&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 29 jan. 2011. doi: 10.1590/S0100-06832009000400018.

FONSECA, A. C. O. **Viabilidade de substratos orgânicos e NPK na cultura do amendoineiro (*Arachis hypogaea* L.) em um Latossolo do Recôncavo Baiano**. – Cruz das Almas, Ba, 2005. 78f ; 30 cm.

FORTES NETO, P., FERNANDES, S. A. P e JAHNEL, M. C. Microbiota da Solo como Indicadora da Poluição do Solo e do Ambiente. In: **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Ed Silveira, A. P.D. e Freitas, S.S. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. p 259- 274

FUSCALDIL, K. C.; PRADO, G. R.; Análise econômica da cultura do feijão **Revista de Política Agrícola** Ano XIV - Nº 1 - Jan./Fev./Mar. 2005

HAAG, H. P. et al . Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 26, n. unico, jan. 1967 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-8705196700100030&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 29 jan. 2011. doi: 10.1590/S0006-87051967000100030.

KIKUTI, HAMILTON et al . Teores de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro em função de doses de nitrogênio e fósforo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, 2006 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052006000200017&lng=pt&nrm=iso>. Acessos em 10 jan. 2011. doi: 10.1590/S0006-87052006000200017.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C. e OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba – SP. Potafos, 1997. 319 p.

MIRANDA, RAFAEL DE SOUZA et al . Deficiência nutricional em plântulas de feijão-de-corda decorrente da omissão de macro e micronutrientes. **Rev. Ciênc. Agron.**, Fortaleza, v. 41, n. 3, set. 2010 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902010000300002&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 29 jan. 2011. doi: 10.1590/S1806-66902010000300002.

NOVAIS, R. F., SMYTH, T. J. E NUNES, F. N. Fósforo. In: **Fertilidade do Solo**, Eds Novais et al. Viçosa, MG 2007. P 471 – 550.

OLIVEIRA, ITAMAR PEREIRA de et al . Magnesium sulphate and the development of the common bean cultivated in an Ultisol of Northeast Australia. **Sci. agric.**, Piracicaba, v. 57, n. 1, Mar. 2000 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162000000100025&lng=en&nrm=iso>. access on 26 Jan. 2011. doi: 10.1590/S0103-90162000000100025.

PAUL, E.A. e CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1996. 273p.

PRASAD, R. and POWER, J. F. **Soil fertility management for sustainable agriculture**. Boca Raton, FL USA, CRC Press LLC, 1997, 347 p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**, 8.ed. São Paulo, Nobel, 2002. 541 p.

RAIJ, B.V. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba. Potafos. 1991, 343 p.

RIBEIRO, C. A., GUIMARÃES, P.T.G. E VICTOR, H. V. **Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais – Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

SALDANHA, C. Solubilidade x temperatura. Ponto Ciência – **várias experiências em um só lugar**. Disponível em <http://www.pontociencia.org.br/experimentos-interna.php?experimento=322&SOLUBILIDADE+X+TEMPERATURA> Acessado em 29 de janeiro de 2011.

SILVA, J.; LIMA E SILVA, P.S.; OLIVEIRA, M.; BARBOSA E SILVA, K.M. Efeito de esterco bovino sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. **Hortic. Bras.**, Brasília, v. 22, n. 2 de Junho de 2004.

SOUZA, D. M. G., MIRANDA, L.N. E OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: **Fertilidade do Solo**, Eds Novais et al. Viçosa, MG 2007. P 205 – 274.

SOUZA, S. R. E FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: **Nutrição mineral de plantas**, Ed por Manilo Silvestre Fernandes. Viçosa, MG, 2006. P 214 – 252.

SPECTRUM ANALITIC, excellence in testing - **Magnesium Basics**, http://www.spectrumanalytic.com/support/library/ff/Mg_Basics.htm, acessado em 26 de janeiro de 2011.

SUBBARAO, G. V. et al. Sodium: A Functional Nutrient in Plants. In: **Handbook of Plant and Crop Physiology**. Second Edition. Edited by M. Pessarakli. New York: Marcel Dekker Inc. (2002), pp. 363-384.

TRINCA, C.R. de. Materia organica del suelo. **Revista Alcance**, v.57, p.53-72, 1999.

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SANTOS, J. S. **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luis: EDUFMA, 2010. 230p.

VITTI, G. C., LIMA, E. E CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: **Nutrição mineral de plantas**, Ed por Manilo Silvestre Fernandes. Viçosa, MG, 2006. P 299 – 325.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de a sua importância alimentar, existe um déficit na pesquisa e extensão em relação a cultura do feijoeiro. Não é focado principalmente o manejo sustentável e ecológico, baseado princípios como a sustentabilidade e o cultivo em regiões tropicais, e historicamente, sempre a primeira preocupação são as correções químicas do solo, e em segundo plano as correções físicas e quase nunca há um a preocupação quanto aos atributos biológicos. Na prática o agricultor continua a revolver o solo, queimar os restos vegetais e utilizar adubos solúveis sem controle.

Este trabalho mostrou que em solos intemperizados como os Latossolos do Recôncavo da Bahia, a adição de capim napier, uma gramínea comumente utilizada na nutrição animal e na adubação verde, é benéfica ao solo e a cultura. Conjugado a gramínea, a adição de microrganismos benéficos ao solo, estimulou a atividade microbiana, incrementaram a produção do feijoeiro, melhorando sua nutrição e produção de massa seca.

Entretanto evoluímos numa cultura produtiva que menospreza as propriedades biológicas e físicas, mas estas duas são tão importante quanto as propriedades químicas. Espero que com este trabalho possa chamar a atenção para esta visão mais holística do solo, como um corpo vivo que precisa ser bem tratado, respeitando a importância da matéria orgânica, do cultivo mínimo, entre outras práticas agroecológicas.

Com o sentimento de mais uma etapa cumprida, espero que os conhecimento e resultados gerados neste trabalho possam ser úteis nas tomadas de decisões dos produtores.