



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

CARLOS ALBERTO HIRATA

**ABORDAGEM TEÓRICA E EXPERIMENTAL DAS
INTERAÇÕES PLANTA - MICRORGANISMOS**

Londrina
2012

CARLOS ALBERTO HIRATA

**ABORDAGEM TEÓRICA E EXPERIMENTAL DAS
INTERAÇÕES PLANTA - MICRORGANISMOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Galdino Andrade Filho

Londrina
2012

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

H668a Hirata, Carlos Alberto.

Abordagem teórica e experimental das interações planta-microorganismos /
Carlos Alberto Hirata. – Londrina, 2012. 99 f. : il.

Orientador: Galdino Andrade Filho.

Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina,
Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2012.
Inclui bibliografia.

1. Microbiologia agrícola – Teses. 2. Microorganismos do solo – Teses.
3. Fungos micorrízicos – Teses. 4. Microorganismos fixadores de nitrogênio
– Teses. 5. Ecologia microbiana – Teses. I. Andrade Filho, Galdino. II. Universidade
Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação
em Agronomia. III. Título.

CDU 631.461

CARLOS ALBERTO HIRATA

**ABORDAGEM TEÓRICA E EXPERIMENTAL DAS INTERAÇÕES
PLANTA - MICRORGANISMOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Cristiane de Conti Medina
UEL – Londrina - PR

Prof. Dr. Galdino Andrade Filho
UEL – Londrina - PR

Dr. Joel Leandro Queiroga
Embrapa – Londrina - PR

Prof. Dr. Otávio Jorge Grigoli Abi Saab
UEL – Londrina - PR

Profa. Dra. Yoshiya Nakagawara Ferreira
Convidada

Prof. Dr. Osvaldo Coelho Pereira Neto
UEL – Londrina - PR

Prof . Dr. Geraldo Terceiro Correa
UEL – Londrina - PR

Prof. Dr. Galdino Andrade Filho
Orientador
UEL – Londrina - PR

Londrina, 17 de fevereiro de 2012.

Dedico este trabalho aos meus pais, minha esposa Bernardete e aos meus filhos Michelle e Matheus.

AGRADECIMENTOS

Ao Nazareno pelo sacrifício, alento e perdão.

Ao Professor Dr. Galdino Andrade Filho e sua família pela amizade, orientações e estímulo no desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores do Departamento de Agronomia pelos resultados científicos obtidos no Programa de Pós-Graduação da UEL.

Aos pesquisadores e técnicos do Laboratório de Ecologia Microbiana da UEL.

Aos professores da banca examinadora, que gentilmente aceitaram avaliar este trabalho.

À Professora Dra. Yoshiya Nakagawara Ferreira, por iluminar nosso caminho acadêmico.

Ao apoio recebido pelos amigos do curso nas inúmeras tarefas e reuniões realizadas.

Aos professores do Departamento de Geociências do Centro de Ciências Exatas.

À Sociedade pelo apoio na promoção de nosso conhecimento.

Ao amigo Nelson Bruno Queiróz de Godoy pelo acolhimento do experimento de campo em sua propriedade rural.

À Bibliotecária Neide Maria Zaninelli pelo apoio.

À Universidade Estadual de Londrina.

A minha família razão de todos os esforços da minha vida.

Partindo do princípio, que só temos uma vida para viver, é preciso, vivê-la intensamente, praticando o bem. A maioria dos problemas, que enfrentamos no cotidiano, nós os criamos. Pense, se for preciso mude, estude e faça mais pela sociedade, peça menos.

HIRATA, Carlos Alberto; ANDRADE FILHO, Galdino. 2012. 99 f. **Abordagem teórica e experimental das interações planta - microrganismos**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

RESUMO

Este trabalho discutiu através de uma abordagem teórica e experimental das interações planta e os microrganismos, a importância dessa questão em função da complexidade e dinâmica das relações que aí se estabelecem, no âmbito da dimensão de informações, arranjo de pensamentos e escalas de análise, necessários a compreensão dos processos interativos, que dão sustentabilidade na vida do planeta. A importância de se conhecer com maior profundidade essas interações, decorre do fato de que, a observação da dinâmica desses processos interativos, pode promover novas compreensões quando esses conhecimentos e compreensões são apropriados ao nível dos detalhes e analisados sob o olhar acadêmico multidisciplinar. Olhar e compreender as interações do universo microbiológico, em sua diminuta dimensão, nos coloca frente a frente, a uma complexa e dinâmica escala espacial de análise, que nos permite derivar os resultados obtidos no âmbito do microcosmo, as escalas que se processam no meso e no macrocosmo no mundo global. Esta discussão teve também como pano de fundo, contribuir e oferecer aos vários ramos do saber científico, que debatem o conflito da questão ambiental, principalmente no contexto agrônomo, uma visão sobre essa questão a luz de uma abordagem interdisciplinar, sustentada transversalidade da visão holística, multi e interdisciplinar, tendo como subsídio os conhecimentos da Agronomia, da Biologia, da Climatologia, da Ecologia, da Economia, da Física, da Geografia, da Matemática, da Pedologia, da Química, da Sociologia, entre outros, num exercício acadêmico que possibilita através da sua compreensão, a abertura de novos horizontes científicos dos processos interativos que as plantas realizam com os microrganismos, tanto do ponto de vista da macro, quanto da meso, assim como da micro-análise. Este trabalho também discutiu experimentalmente a avaliação do desenvolvimento em campo de mudas do *Schizolobium parahyba* (guapuruvú) inoculadas com microrganismos promotores de crescimento, exercitando uma construção teórica e prática, procurando unir o conhecimento ecológico com a experimentação agrônoma, na perspectiva de contribuir na recuperação e preservação dos sistemas ecológicos do planeta. O experimento foi instalado no município de Londrina (PR), com delineamento experimental inteiramente ao acaso, os tratamentos foram desenhados com combinações de duas espécies de fungos MA (*G. clarum*, *G. intrarradices*), duas cepas de bactérias fixadoras de N (*Rhizobium sp*, *Burkholderia sp*) e uma dose de adubo químico. As avaliações foram feitas em dois tempos de amostragem (60 e 120 dias), com medidas de altura total e diâmetro das mudas. Ao final do experimento, foi calculado o incremento em centímetros de cada tratamento obtido entre 60 e 120 dias. A análise estatística foi feita mediante análise de variância e teste de Tukey (0,05). Aos 60 dias, os tratamentos com adubo apresentaram maior crescimento. Já aos 120, os tratamentos *G. clarum* + *Rhizobium sp*. e *G. intrarradices* + *Rhizobium sp*. apresentaram as maiores médias para altura e diâmetro, respectivamente. A maior taxa de crescimento de altura observada foi a do tratamento com *G. clarum* + *Rhizobium sp*., já para o diâmetro a combinação Fungo + Bactéria + Adubo apresentou uma maior taxa de crescimento porém sem diferença significativa entre os tratamentos, indicando assim uma ação favorável e possível sinergismo entre os microrganismos inoculados no desenvolvimento das mudas.

Palavras-chave: *Schizolobium parahyba*. Microrganismos simbiotes. Micorriza. Bactérias fixadoras de nitrogênio.

HIRATA, Carlos Alberto; ANDRADE FILHO, Galdino. 2012. 99 f. **THEORETICAL AND EXPERIMENTAL APPROACH OF PLANT - MICROORGANISMS INTERACTIONS** Doctorate thesis of Agronomy, State University of Londrina, Londrina, 2012.

ABSTRACT

This study discussed through a theoretical and experimental interactions of plants and microorganisms, the importance of this issue because of the complexity and dynamics of relationships there are established within the dimension of information, thoughts and arrangement of scales of analysis required understanding of the interactive processes that give sustainability in the life of the planet. The importance of understanding these interactions in greater depth, due to the fact that the observation of the dynamics of these interactive processes, can promote new understandings and insights when these skills are appropriate to the level of detail and analyzed from the perspective of scholarly. Look and understand the interactions of the microbial universe, in its small size, puts us face to face, to a complex and dynamic spatial scale of analysis, which allows us to derive the results obtained within the microcosm, the scales that occur in the meso and the macrocosm in the global world. This discussion also had the background, and offer help to the various branches of scientific knowledge, debating the conflict of environmental issues, especially in the context agronomic insight into this issue to light an interdisciplinary approach, holistic view of the sustained mainstreaming, multi and interdisciplinary approach, taking as input the knowledge of Agronomy, Biology, Climatology, Ecology, Economics, Physics, Geography, Maths, pedology, chemistry, sociology, among others, an academic exercise that allows through its understanding, new horizons opened scientific of the interactive processes that perform the plants with microorganisms, from the point of view of the macro, and the meso as well as the microanalysis. This work also discussed experimentally the development assessment in field seedlings of *Schizolobium parahyba* (*Schizolobium parahyba*) inoculated with microorganisms growth promoters, exercising a theoretical construct and practice, seeking to unite the ecological knowledge with agronomic experimentation with a view to contributing to the recovery and preserving ecosystems on the planet. The experiment was carried out in the town of Londrina (PR), with a completely randomized design, the treatments were designed with combinations of two species of fungi (*G. clarum*, *G. intrarradices*), two of nitrogen-fixing bacteria (*Rhizobium sp*, *Burkholderia sp*) and a dose of fertilizer chemical. Assessments were made at two sampling times (60 and 120 days), with measurements of total height and diameter of the seedlings. At the end of the experiment, it was calculated the increase in centimeters of each treatment obtained between 60 and 120 days. The statistical analysis was performed using analysis of variance and Tukey's test (0.05). After 60 days, the treatments with fertilizer showed greater growth. Already at 120, the treatments *G.clarum* + *Rhizobium sp.* and *G.intrarradices* + *Rhizobium sp.* showed the highest averages for height and diameter, respectively. The highest rate of growth in height was observed in the treatment with *G. clarum* + *Rhizobium sp.*, already for the diameter the combination fungus + Bacterium + Fertilizer presented a higher rate of growth, however without significant difference between the treatments, thus indicating a favorable and possible synergism among the inoculated microorganisms in the development of seedlings.

Key-words: *Schizolobium parahyba*. Microorganisms symbionts. Mycorrhiza. Nitrogen fixing bacterias.

LISTA DE TABELAS

Artigo A

- Tabela 1** – Histórico dos sistemas de classificação dos seres vivos34
- Tabela 2** – Efeitos das micorrizas arbusculares sobre as plantas e favorecimento de processos reabilitadores de áreas degradadas46

Artigo C

- Tabela 1** – Efeito dos fungos micorrízicos (*G. clarum* e *G. intraradices*) e bactérias fixadoras de N de vida livre (*Burkholderia sp*, *Rhizobium sp*) no diâmetro na superfície do solo (DAS) e altura total (H) em guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) 60 e 120 dias depois do plantio em condições de campo.....87
- Tabela 2** – Desdobramento dos tratamentos com fungo dentro dos níveis de bactéria/adubo para as variáveis diâmetro na superfície do solo (DAS) e altura total (H) após 120 dias de plantio..... 88
- Tabela 3** – *p-valor* (ANOVA) do incremento em diâmetro (DAS) e altura total (H) para as diferentes combinações de Fungo x Bactéria x Adubo após entre o período de 60 e 120 dias após o plantio 89
- Tabela 4** – Desdobramento dos tratamentos com fungo dentro dos níveis de bactéria/adubo que apresentaram diferença significativa do incremento na variável altura no período entre 60 e 120 dias após o plantio 89

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 DESCRIÇÃO DA PLANTA.....	18
2.2 USO ECONÔMICO	19
2.3 A IMPORTÂNCIA AMBIENTAL DO GUAPURUVU NA REDUÇÃO DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL.....	19
2.4 MICRORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE PLANTAS	21
3 HIPÓTESE	23
4 OBJETIVO	24
5 REFERÊNCIAS	25
6 ARTIGO A - ABORDAGEM TEÓRICA DAS INTERAÇÕES AMBIENTAIS ENTRE PLANTAS E MICRORGANISMOS	27
6.1 RESUMO E ABSTRACT.....	28
6.2 INTRODUÇÃO.....	28
6.3 REVISÃO DE LITERATURA	29
6.3.1 Ecossistema.....	29
6.3.2 Classificação dos Organismos Vivos.....	32
6.3.3 Estrutura Trófica da Planta Sob o Olhar Interdisciplinar.....	34
6.3.4 O Solo e a Interação dos Microrganismos na Nutrição da Planta	38
6.3.5 Fixação Biológica de Nitrogênio	51
6.4 CONCLUSÕES.....	54
6.5 REFERÊNCIAS	55
7 ARTIGO B - RAÍZES E MICRORGANISMOS	58
7.1 RESUMO E ABSTRACT.....	59
7.2 INTRODUÇÃO.....	59
7.3 ORIGEM E TIPOS DE RAÍZES	60

7.4 A RAIZ E A COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	63
7.5 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE EXPLORAÇÃO RADICULAR	64
7.6 A RAIZ E O DÉFICIT HÍDRICO	65
7.7 AS RAÍZES E OS MICRORGANISMOS	66
7.8 A RAIZ E A RIZOSFERA.....	69
7.9 ASSOCIAÇÃO DAS RAÍZES – MICORRIZAS.....	72
7.10 TIPOS DE MICORRIZAS	73
7.11 INTERAÇÕES SIMBIÔNTICAS DAS RAÍZES E OS MICRORGANISMOS.....	74
7.12 DINÂMICA DA COLONIZAÇÃO DO SISTEMA RIZOSFÉRICO	75
7.13 CONCLUSÕES	77
7.14 REFERÊNCIAS	77
8 ARTIGO C - AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO EM CAMPO DE MUDAS DE <i>Schizolobium parahyba</i> (GUAPURUVU) INOCULADAS COM MICRORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO.....	81
8.1 RESUMO E ABSTRACT.....	83
8.2 INTRODUÇÃO.....	83
8.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	84
8.3.1 Área de Estudo	84
8.3.2 Tratamentos.....	84
8.3.3 Cultivo dos Microrganismos.....	85
8.3.4 Semeadura e Métodos de Inoculação Utilizados nas Mudas	85
8.3.5 O Delineamento Experimental	86
8.3.6 Método de Avaliação	86
8.4 RESULTADOS	86
8.4.1 Avaliação do Crescimento das Plantas.....	86
8.4.2 Incremento em Centímetros no Diâmetro e na Altura.....	88
8.5 DISCUSSÕES.....	89
8.6 CONCLUSÕES.....	91
8.7 REFERÊNCIAS	92
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96

PREFÁCIO

Atualmente, o desenvolvimento das plantas envolve uma diversa gama de interações no ambiente, derivadas das relações físicas, químicas e biológicas, sob o efeito das interferências humanas vinculadas no tempo e no espaço.

Uma das importâncias de se conhecer com maior profundidade essas interações decorre do fato de que, a observação da dinâmica desses processos interativos, pode promover novas compreensões quando esses conhecimentos e compreensões são apropriados ao nível dos detalhes e analisados sob o olhar acadêmico multidisciplinar.

Os enunciados deste trabalho possibilitam a construção no leitor, de uma dimensão de informações, arranjo de pensamentos e escalas de análise, necessário a compreensão dos processos interativos, que dão sustentabilidade na vida do planeta, sob um olhar teórico e experimental, tendo como objeto de estudo as interações entre a planta e os microrganismos, e como modelo experimental, o estudo do desenvolvimento em campo de mudas de *Schilozobium parahyba* (guapuruvu) inoculadas com microrganismos promotores de crescimento.

Olhar e compreender as interações do universo microbiológico, em sua diminuta dimensão, nos coloca frente a frente, a uma complexa e dinâmica escala espacial de análise que nos permite derivar os resultados obtidos no âmbito do microcosmo, as escalas que se processam no meso e no macrocosmo no mundo global.

Entretanto, olhar nem sempre é enxergar. Daí, a oportunidade nesta discussão, de se destacar através da Ecologia, uma parte da evolução do conhecimento dos seres vivos através que ao longo do tempo, através de novas metodologias científicas tem nos possibilitado enxergar a natureza, sobre novas lentes de análise, em especial, no que tange a uma maior compreensão da dinâmica das interações no campo microbiológico presentes na natureza, construindo e mantendo a sustentabilidade da vida do planeta, dos mais simples aos processos mais complexos, desde a origem da vida.

Esta discussão teve como pano de fundo, contribuir e oferecer aos vários ramos do saber científico, que debatem o conflito da questão ambiental, principalmente no contexto agrônomo, uma visão sobre essa questão a luz de uma

abordagem interdisciplinar, sustentada transversalidade da visão holística, multi e interdisciplinar, tendo como subsídio os conhecimentos da Agronomia, da Biologia, da Climatologia, da Ecologia, da Economia, da Física, da Geografia, da Matemática, da Pedologia, da Química, da Sociologia, entre outros, num exercício acadêmico que possibilita através da sua compreensão a abertura de novos horizontes científicos dos processos interativos das plantas com os microrganismos, tanto do ponto de vista da macro, quanto da meso, assim como da micro-análise.

Este trabalho é um exemplo de discussão teórica e experimental, que exercita a construção de uma caminhada, que procura unir o conhecimento ecológico com a experimentação agrônômica, na perspectiva de contribuir na recuperação e preservação dos sistemas ecológicos do planeta.

Nesta oportunidade, também é feita uma reflexão em relação à prática da agricultura convencional e a orgânica, intercalando de maneira proposital, uma narrativa contextual, que alia o pensamento da agricultura convencional e o ambiental, de maneira proposital para que o leitor perceba em função das inúmeras possibilidades de interações que a natureza realiza, e como essas interações oscilam da forma mais simples às mais complexas ou das complexas as mais simples, no espaço e no tempo, através de inúmeros fatores (físicos, químicos, biológicos e humanos tomando como exemplo as inúmeras relações que se processam entre as plantas e os microrganismos.

Apesar de parecer incorreto, é quase certo, que os agricultores brasileiros e a sociedade, continuarão se degladiando nos próximos anos, na discussão de como melhor produzir na agricultura, tendo na pauta a importância da conservação da natureza, principalmente, no que tange ao avanço das áreas de cultivo sobre áreas de proteção ambiental, decorrendo, daí, a finalidade da pesquisa experimental que estudou o desenvolvimento de mudas do guapuruvu em condição de campo inoculados com microrganismos promotores de crescimento, por conta do seu esperado desenvolvimento e benefícios ecológicos que poderá promover com o seu cultivo em escala comercial nas áreas degradadas e desflorestadas do Estado do Paraná.

Assim, esta abordagem é concluída na certeza de ter iniciado uma discussão teórica e experimental, de contexto ecológico e ecossistêmico, através da exposição dos processos interativos que ocorrem entre as plantas e os microrganismos esperando ter contribuído para uma para sua maior compreensão,

auxiliando dessa maneira, no conhecimento, compreensão, análise e avaliação de alguns dos problemas ambientais que a natureza vem enfrentando decorrentes da ação humana.

INTRODUÇÃO

Uma lenda indígena conta que Guapuruvu foi um grande guerreiro Tupinambá que se apaixonou pela Mãe do Ouro, uma deusa-guardiã da floresta. Ao final da sua vida foi transformado em uma bela árvore de flores amarelas que leva seu nome, eternizado às margens do rio em que se encontrava com sua amada. Bióloga Lígia Meneguello (2012).

O Norte do Estado do Paraná sofreu intensa transformação em sua paisagem com a substituição da floresta estacional semidecidual caducifólia, do bioma da mata atlântica, por atividades agropecuárias.

O processo de colonização e ocupação da região, em pouco menos de 60 anos, retirou mais de 90% da cobertura florestal nativa, dando lugar aos núcleos urbanos, cidades e municípios, edificadas com a madeira retirada da floresta natural, sem nenhuma preocupação com a preservação ambiental já estabelecida à época pela Lei de florestas de 1934.

As propriedades rurais completavam as áreas municipais e delineavam a sua configuração no solo, do espigão da bacia hidrográfica até fundo do vale, junto ao corpo hídrico.

A produção agrícola foi instalada, inicialmente, na expectativa de se produzir algodão, mas foi com a produção do café, que a região prosperou, até a queda mundial do preço do café, o advento do Estatuto do trabalhador rural e, o novo modelo agrícola de plantio mecanizado de oleaginosas. Fatos, que alteraram a estrutura de produção da cultura permanente do café para culturas sazonais de soja e trigo.

Estas mudanças acarretaram o desemprego dos colonos, por não ser mais necessário em grande número, o uso da mão-de-obra do trabalho braçal, até então, empregada nas atividades de preparação, plantio, manutenção, colheita, secagem, armazenagem, entregas comerciais e industriais das sacas de café, expulsando-os para as cidades, no chamado êxodo rural.

Em função da inviabilidade econômica de suas terras para o cultivo mecanizado de soja e trigo, os pequenos e médios proprietários de terra, também migraram para as cidades e outras regiões do país em busca de um novo futuro, com novas perspectivas de produção rural.

Num contraponto a retirada da floresta natural, um fato peculiar ocorreu durante o período do cultivo do café, com o plantio da espécie florestal exótica, denominada de grevílea, cultivada em linha entre os cafeeiros, para formar “quebra ventos” de proteção, para reduzir a ação dos ventos nos cafeeiros, servindo, também, em alguns casos, de referência de divisa entre as propriedades rurais.

Outra espécie exótica cultivada na região para uso comercial da madeira ocorreu com o Kiri, na década de 1980, entretanto, em poucos anos seu cultivo foi erradicado, devido seu cultivo, exigir a retirada contínua de galhos para que o seu desenvolvimento com o uso constante de mão-de-obra.

O cultivo florestal comercial no Estado do Paraná, está baseado atualmente, na produção de madeira de espécies exóticas dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, não havendo registro de produção do *Schizolobium parahyba* (guapuruvu) em escala comercial. Neste sentido, o estudo em campo do desenvolvimento de mudas do guapuruvu, inoculadas com microrganismos promotores de crescimento, busca desenvolver o estudo de uma nova alternativa de cultivo florestal, com uma espécie nativa do bioma Mata Atlântica, com o objetivo de promover o seu plantio em escala comercial em reflorestamentos mistos ou isolados, a fim de produzir matéria prima à indústria madeireira e recuperação de áreas de preservação permanente-APP e da reserva legal-RL.

É importante salientar que a metodologia utilizada nesta pesquisa buscou potencializar o uso de recursos como os microrganismos promotores de crescimento, indo de encontro com os pressupostos da produção sustentável, que evocam a adoção de novas tecnologias de produção, que potencializam a utilização de recurso disponíveis na natureza, que neste caso são compostos de fungos genéticos e bactérias, naturalmente presentes no solo da região, fato, que contribui positivamente com a natureza, devido à sua interação ecológica com os elementos do ambiente natural.

Os resultados obtidos neste estudo são iniciativas para o conhecimento e análise da viabilidade da produção do guapuruvu no Estado, devido aos indicadores de desenvolvimento precoce da altura total, do diâmetro do tronco e elevado índice de sobrevivência da planta.

Neste sentido, a análise das interações do guapuruvu com os microrganismos promotores de crescimento, tem seu conteúdo, inicialmente, discutido, na abordagem teórica das interações ambientais entre nutrição de plantas

e microrganismos no artigo A; acompanhado de uma exposição raízes e microrganismos, destacando as relações que estas processam entre si no artigo B e, finalizando no artigo C com a apresentação da avaliação do desenvolvimento em campo de mudas do guapuruvu, inoculadas com microrganismos promotores de crescimento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DESCRIÇÃO DA PLANTA

O guapuruvu esta presente na paisagem da mata atlântica, ao longo do litoral, pelo seu porte majestoso, com seus longos troncos verdes, copas em guarda-chuva e sua intensa floração amarela. Espécie apícola. Pioneira, importante na recuperação de áreas degradadas com vegetação secundária, especialmente em florestas de galeria, com uso principal em paisagismo. Apresenta madeira branca, muito leve, de 320 kg/m³, usada em calçados, aeromodelismo, caixotes, lápis, canoas de um tronco só. Excelente para produção de celulose e fabricação de papel, segundo Backes e Irgang (2002, p.72). O autor mesmo comenta que a espécie floresce de julho a dezembro e frutifica entre os meses de março a outubro, reproduz naturalmente bem nas planícies de aluvião e que seus frutos, ao se abrirem, liberam uma espécie de envelope com a semente que voa em dias de vento, sendo uma árvore de grande porte, caducifólia, com até 30 metros de altura. Possui fustes altos, com até um metro de diâmetro, tem a casca verde-cinzenta, com grandes cicatrizes foliares e folhas alternas, bi-pinadas com até um metro de comprimento contendo até 30 pares de pinas, com 40 a 60 folíolos por pina, elípticos, com até três cm de comprimento por um cm de largura. Possui inflorescências em cachos terminais. Suas flores são hermafroditas, pentâmeras, com corola amarela de até 15 mm de comprimento. Seu fruto é do tipo sâmara, obovado, lembrando uma raquete de até 16 cm de comprimento por seis cm de largura.

O guapuruvu é uma espécie heliófila, que ocorre naturalmente desde a Bahia até o Rio Grande do Sul, comum em vegetação secundária e com bom potencial para uso na recuperação de matas ciliares, em locais não sujeitos a inundação (CARVALHO, 2003); sendo conhecido por diversos outros nomes populares: ficheira, faveira, birosca, bacuruva, pau-de-vintém, pau-de-canoa, entre outros; e recebeu o nome científico de *Schizolobium parahyba* em homenagem ao lugar onde foi vista pela primeira vez. Seus frutos parecem verdadeiros envelopes; quando maduros, desprendem-se dos altos galhos e se dispersam com a ajuda do vento. Dentro deles, uma única e grande semente, com cerca de dois e meio cm (MENEGHELLO, 2012).

2.2 Uso ECONÔMICO

Sua importância econômica está em poder ser usada como madeira para uso industrial. Richter et al. (1974) apud Pietrobon e Oliveira (2004) publicou um estudo tecnológico sobre a espécie, no qual destacou algumas características da madeira, como a durabilidade e baixa suscetibilidade ao ataque de insetos, o que favorece a fabricação de tábuas para assoalho e caixas. Segundo Carvalho (2003), a madeira pode também ser empregada na construção civil e para caixotaria em geral.

O guapuruvu também apresenta densidade lenhosa compatível à exigida para fabricação de chapas de partículas "strand" e maravalhas que poderia viabilizar a produção de OSB pelo seu rápido crescimento em sítios bastante degradados, além da importância do descobrimento de matérias-primas alternativas, segundo Costa (2002).

A espécie é vista como fonte promissora de pasta para celulose e a madeira é bastante utilizada na confecção de painéis, portas, brinquedos e caixas, segundo Lorenzi (1992). E na confecção de canoas e objetos para aerodelismo, em função da baixa densidade (RIZZINI, 1978).

A casca do guapuruvu é utilizada na medicina popular por possuir propriedades terapêuticas adstringentes segundo Carvalho (2003).

Em comunidades tradicionais, essas árvores são freqüentemente usadas para a construção de embarcações, principalmente canoas, que costumam ser talhadas em um único tronco. Sua madeira leve e macia é de fácil manuseio e de grande aproveitamento pelas comunidades indígenas e caiçaras. Não é recomendada para a arborização em áreas abertas, já que é comum ter galhos despencados em dias de vento forte. Em contrapartida, é boa para uso paisagístico, pois apresenta raízes profundas em solos permeáveis, causando poucos danos a muros e calçamentos (MENEGUELLO, 2012).

2.3 A IMPORTÂNCIA AMBIENTAL DO GUAPURUVU NA REDUÇÃO DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL

A fragmentação da paisagem florestal é um dos grandes problemas ambientais causados pelo processo de colonização e produção agropecuária no

estado do Paraná. Durante o processo de ocupação e uso do território mais de 90% da cobertura florestal foram eliminadas (VICENTE, 2006).

A paisagem herdada do processo desenvolvimentista produziu um padrão de fragmentação que se repete em várias partes do mundo, e também no Paraná, composta por áreas de vegetação nativa com remanescentes isolados dos mais diversos tamanhos, formatos e localização, cercados por lavouras ou outros usos como áreas urbanizadas, estradas, lagos, etc, (SAUNDERS et al., 1991).

A Mata Atlântica é considerada um dos mais importantes repositórios de biodiversidade do planeta e um dos biomas mais ameaçados do mundo (TABARELLI et.al., 2005). Entretanto, vastas áreas sob domínio da Mata Atlântica se encontram subutilizadas. Algumas ocupadas por pastagens pouco produtivas, que favorecem, em especial, a degradação dos recursos edáficos e hídricos. Estas áreas necessitam de uma ação da silvicultura com essências florestais nativas da mata atlântica, bem como espécies adaptadas às condições atuais de tais sítios, como é o caso de guapuruvu que poderia servir como uma alternativa florestal para essa região, com benefícios ecológicos, econômicos e sociais (FERREIRA et al., 2007).

No contexto ambiental o guapuruvu desempenha papel de destaque em programas para o reflorestamento misto de áreas degradadas visando recuperação de áreas de preservação permanente, devido, principalmente, ao seu rápido crescimento no campo, podendo atingir dez metros de altura no período de dois anos (LORENZI, 1992).

O cultivo do guapuruvu possibilitaria agir contra o cenário de desmatamento que reduziu a área de ricos habitat em biodiversidade do Estado do Paraná de 84% para 8,83%, e também auxiliaria na formação de corredores ecológicos (VICENTE, 2006).

Atualmente, as espécies florestais mais utilizadas com fins econômicos no Paraná são as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (IEDE et al., 2003). O guapuruvu não possui estudos que viabilizem a sua produção comercial no Estado do Paraná, fato que limita o número de produtores que se interessam em seu cultivo.

O presente estudo, ao avaliar o uso de microrganismos promotores de crescimento no seu cultivo florestal, busca construir um maior conhecimento sobre sua viabilidade econômica na intenção de oferecer aos agricultores uma

opção de cultivo florestal de tecnologia de baixo custo e de fácil disponibilidade, através do uso de microrganismos como “biofertilizantes”.

Certamente, num futuro próximo, os resultados deste trabalho, promoverão a sua produção no Paraná, através da produção de árvores mais saudáveis e com precocidade no tempo de uso da sua madeira, além dos benefícios atrelados ao “sequestro” de carbono atmosférico. Podendo, dessa maneira, viabilizar sua produção em escala comercial e na recuperação de áreas degradadas. Fato que poderá contribuir na redução da pressão do desmatamento irregular, sobre as áreas de florestas nativas do Estado do Paraná.

2.4 MICRORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE PLANTAS

A relação entre plantas e microrganismos é discutida no campo científico como uma alternativa para o entendimento dos mecanismos moleculares e simbióticos das plantas, fornecendo subsídios visando o aumento da produção agrícola e a diminuição do uso de agroquímicos nos cultivos.

Muitas espécies de plantas arbóreas, principalmente as espécies pioneiras e secundárias, associam-se à bactérias e fungos micorrízicos arbusculares - MA. Essa associação das plantas arbóreas com microrganismos, como, por exemplo, os fixadores de nitrogênio e fungos MA, aumentam a capacidade de absorção de minerais e impulsiona o desenvolvimento das plantas, criando condições no solo para o estabelecimento dos grupos sucessionais.

Segundo Zangaro Filho (1997), dos quatro grupos sucessionais (pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e clímax) de árvores da bacia hidrográfica do rio Tibagi, no Paraná, as pioneiras são extremamente dependentes da associação com fungos MA, praticamente não crescendo na ausência destes. Entretanto, a dependência praticamente desaparece nos demais grupos sucessionais, sugerindo que, em programas de revegetação, as espécies pioneiras devam ser inoculadas com fungos MA, como alternativa para acelerar o processo de recuperação da cobertura vegetal.

Já na fase de produção e implantação de mudas no campo, um dos desafios dos programas de reflorestamento está na manutenção da condição nutricional da planta, onde não raras vezes a planta fica à mercê das condições naturais do solo e do clima. Para estes casos o uso de fungos simbiotes pode

auxiliar no desenvolvimento inicial das mudas na fase de viveiro, bem como diminuir o estresse do transplante e aumentar o vigor inicial das mudas a campo, por efeitos nutricionais e hormonais, dentre outros, o que aumenta as chances de sucesso dos programas de revegetação (SIQUEIRA et al., 1995; MILLER; KLING, 2000).

3 HIPÓTESE

As mudas de guapuruvu cultivadas em condição de campo, com inoculação de fungos promotores de crescimento do tipo *G. intrarradices* e *G. clarum*, e bactérias do tipo *Burkholderia sp* e *Rhizobium SP*, se comparado com as cultivadas com adubo químico formulado NPK 10-10-10, tem maior desenvolvimento da altura do caule e diâmetro do tronco.

4 OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa foi de analisar através do estudo experimental, o desenvolvimento de mudas de guapuruvu inoculadas com microrganismos promotores de crescimento composto de fungos micorrízicos arbusculares - MA do tipo *G. intrarradices* e *G. clarum*, bactérias do tipo *Burkholderia sp* e *Rhizobium sp* e adubo químico formulado com NPK 10-10-10, cultivado em condição de campo, tendo como parâmetro de avaliação as medidas de altura total (H) e diâmetro de tronco ao nível do solo (DAS).

5 REFERÊNCIAS

- BACKES, P., IRGANG, B. **Árvores do sul**: guia de identificação e interesse ecológico. Santa Cruz do Sul: Instituto Souza Cruz, 2002.
- CARVALHO, C. J. R. Respostas de plantas de *schizolobium amazonicum* (S. parahyba var. amazonicum) e *schizolobium parahyba* (*schizolobium parahybum*) à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.6, p. 907-914, nov./dez. 2003.
- COSTA, M. C. R. **Avaliação da contaminação ambiental por metais pesados em áreas rurais próximas a uma indústria de reciclagem de chumbo no vale do rio Paraíba do Sul-SP**. 2002. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- FERREIRA, A. F.; OLIVEIRA, L.M.; TONETTI, O.A.O.; DAVIDE, A.C. Comparação da viabilidade de sementes de *Schizolobium parahyba* (vell.) blake: leguminosae caesalpinioideae, pelos testes de germinação e tetrazólio. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.29, n.3, p. 73-79, 2007.
- IEDE, E.T.; CARDOSO, J.T.; FREITAS, S.; LÁZZARI, S.M.N. Ocorrência e flutuação populacional de Chrysopidae (Neuroptera) em áreas de plantio de *Pinus taeda* (L.) (Pinaceae) no sul do Paraná. **Revista Brasileira de Entomologia**. v.47, n.3, p. 473-477, 2003.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992.
- MENEGUELLO, L. Mural. Disponível em: <www.corredordovale.org.br/voz_do_vale/?p=467>. Acesso em: 13 jan. 2012.
- MILLER, R. M.; KLING, M. The importance of integration and scale in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, The Hague, v.226, p. 295-309, 2000.
- PIETROBOM, R. C. V.; OLIVEIRA, D. M. T. Morfoanatomia e ontogênese do pericarpo de *schizolobium parahyba* (vell.) blake (fabaceae, caesalpinioideae). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.27, n.4, out. /dez. 2004.
- RICHTER, H. G., TOMASELLI, I. MORESCHI, J. C. Estudo tecnológico do guapuruvu (*Schizolobium parahybum*). **Revista Floresta**, Curitiba, n.5, p.26-30, 1974.
- RIZZINI, C. T. **Plantas do Brasil**: árvores e madeira úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira. São Paulo: E. Blücher, 1978.
- SAUNDERS, D. A.; HOBBS R. J.; MARGULES C. R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservations Biology**, Cambridge, v.5, n.1, p. 18-32, 1991.
- SIQUEIRA, J. O.; SAGGIN-JUNIOR, O. J. The importance of mycorrhizae association in natural in low fertility. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON

ENVIRONMENTAL STRESS: MAIZE IN PERSPECTIVE, 1995, Sete Lagoas.
Anais... Sete Lagoas: Embrapa, 1995. p. 240-280.

TABARELLI, M. et al. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v.1, n.1, 2005.

VICENTE, R. F. **A representatividade do Sistema Estadual de Unidades de Conservação do Estado do Paraná**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

ZANGARO FILHO, W. **Micorrizas arbusculares em espécies arbóreas nativas da Bacia do Rio Tibagi (PR) e suas relações com os grupos sucessionais**. 1997. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

6 ARTIGO A

**ABORDAGEM TEÓRICA DAS INTERAÇÕES AMBIENTAIS ENTRE PLANTAS E
MICRORGANISMOS**

Carlos Alberto Hirata

ABORDAGEM TEÓRICA DAS INTERAÇÕES AMBIENTAIS ENTRE PLANTAS E MICRORGANISMOS

Carlos Alberto Hirata¹

6.1 Resumo

O presente trabalho constrói uma discussão teórica sobre as interações ambientais, com enfoque na influência de microrganismos na nutrição de plantas. Aspectos gerais do ecossistema no ponto de vista da ecologia são discutidos tentando manter a compreensão ecológica de muitos processos interativos, que são realizados entre plantas e a superfície do solo. O objetivo foi contribuir para construção do conhecimento de uma questão multidisciplinar, para conscientização da importância das potencialidades e fragilidades dessas interações, tentando manter os limites dessas relações, devido à alta complexidade e amplitude desses processos.

Palavras-chave: Ecologia. Ecossistema. Interação microbiana. Microbiologia do solo. Nutrição de planta.

THEORETICAL APPROACH OF ENVIRONMENTAL INTERACTIONS BETWEEN PLANT AND MICRO-ORGANISMS

Abstract

The present paper construct a theoretical discussion about the environmental interactions, covering the influence of microorganisms on plant nutrition. General aspects of the ecosystem, in the view point of ecology, are discussed trying to keep the ecological comprehension of many interactive process that, are realized between plant soil interface. The objective was to contribute on the construction of the knowledge a multidisciplinary question, to become aware of the importance of potentialities and fragilities of these interactions, trying to keep boundaries of these relations due to the high complexity and enlargement of these process.

Key – words: Ecology. Ecosystem. Microbial interaction. Microbiology of soil. Plant Nutrition.

6.2 INTRODUÇÃO

A cada dia renovam-se as ações da humanidade na intenção de encontrar soluções para os problemas ambientais que a Terra vem enfrentando.

Dentre esses problemas, está o conflito do uso do solo agrícola para

¹Doutorando de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina. Email: hiratauel@gmail.com

produção de alimentos fibras e energia. Atualmente mais de sete bilhões de pessoas necessitam diariamente de alimentação.

O Brasil, por sua dimensão territorial e disponibilidade de recursos naturais, exerce um papel fundamental nesse cenário mundial, por suas características biogeográficas, climáticas, hídricas, pedológicas, minerais e sua biodiversidade.

Nesse contexto, esta discussão pretendeu construir uma exposição teórica das interações ambientais que influem na nutrição de plantas, tendo por meio os microrganismos, à luz da abordagem ecossistêmica da ecologia, numa tentativa de enraizar a compreensão dos processos interativos que se realizam entre o solo e a planta. Tendo como objetivo contribuir na construção de uma linguagem de compreensão interdisciplinar da questão, visando a conscientização da importância de se conhecer melhor as potencialidades e fragilidades dessas interações.

O estudo da nutrição de plantas é um dos temas mais amplos e complexos no campo agrônomo e está cada vez mais presente no cotidiano da pesquisa agrônoma sobre o olhar de algumas linhas de pensamento, sendo uma delas a físico-química, por meio da agricultura convencional promovida pela chamada revolução verde, e a outra pela agricultura orgânica ou agro-ecológica. Esta discussão teórica não teve como propósito debater estes pensamentos, mas utilizar-se dos conhecimentos tangentes entre essas linhas agrômicas para auxiliar na compreensão das relações interativas entre a planta, o solo e os microrganismos.

Neste trabalho, foi abordada a ação de microrganismos na nutrição de plantas como uma das maneiras de se compreender as interações biológicas que se processam no ambiente, através da abordagem ecossistêmica da ecologia.

6.3 REVISÃO DA LITERATURA

6.3.1 Ecossistema

Para estabelecer uma raiz conceitual, e facilitar o melhor conhecimento da complexidade das interações que se processam entre o ambiente e a nutrição de plantas, esta discussão apoiou seus argumentos na teoria de sistemas da ecologia ou ecossistema pelo fato de que:

O ecossistema é a primeira unidade na hierarquia ecológica que é completa, que tem todos os componentes (biológicos e físicos) necessários para sua sobrevivência; é a unidade básica ao redor da qual se pode organizar a teoria e a prática da ecologia e de que o mundo orgânico e o inorgânico funcionam como um só sistema, de tal modo que é impossível entender cada uma das partes sem entender o todo, sendo mais que uma unidade geográfica (ou ecorregião), uma unidade funcional, com entradas e saídas, e fronteiras que podem ser tanto naturais quanto arbitrária. (ODUM; BARRETT, 2008, p. 19).

O conhecimento do que ocorre nos estudos ecossistêmicos entre as comunidades bióticas e abióticas, naturais ou arbitrárias, é extremamente adequado para a compreensão das interações de nutrição de plantas, dentre os quais a ciclagem de materiais. Pois, segundo (ODUM; BARRETT, 2008), o ecossistema é uma unidade que inclui todos os organismos em uma dada área, interagindo com o ambiente físico, inter-relacionados de modo que um fluxo de energia leve as estruturas bióticas, claramente definidas, à ciclagem de materiais entre componentes vivos e não vivos.

Dentre as pesquisas de nutrição de planta, o estudo da relação entre o solo e a planta, é uma premissa básica para sua compreensão. Malavolta et al. (1989) descrevem “[...] que o sistema solo-planta, é um sistema aberto em que os elementos (M) são constantemente removidos de um lado, na fase sólida do solo, e acumulados no outro, a planta.” Articulando “[...] uma série de reações de transferência, geralmente reversíveis, entre vários compartimentos (fase sólida, reservatório lábil, solução do solo e planta) envolvendo elementos minerais”. (MALAVOLTA; ET AL, 1989). Apesar dos autores, argumentarem esse processo de relação sistêmica entre o solo e a planta por meio da avaliação de fluxo de reações e transferências físico-químicas de nutrientes minerais, vale lembrar que esse processo é um conhecimento universal do comportamento nutricional da planta, servindo de comparativo na discussão nutricional sob foco ambiental, que, continuamente, busca, de maneira ecológica, superar os modelos de nutrição de plantas fomentada pela indústria química na produção de alimentos.

Entretanto, o conhecimento de como ocorrem às interações dos processos físicos e químicos na natureza sempre deve ser considerado nos estudos da ecologia, onde todos os componentes (vivos e não vivos) fazem parte do todo ecossistêmico, produzindo ações e reações ao ambiente natural em busca da biostasia do sistema. A compreensão dos efeitos dessa relação é relevante para o

melhor conhecimento das interações que ocorrem na natureza.

Um exemplo dessa necessária consideração entre o estudo físico-químico e o ambiente pode ser constatado observando-se que:

Barrett, ao avaliar os efeitos de um estresse agudo por inseticida sobre um mesocosmo de campo, determinou não somente que a aplicação do inseticida reduziu os insetos fitófagos “alvo” em curto prazo, mas também que no tratamento houve redução na taxa de decomposição do detrito vegetal, atraso na reprodução de pequenos mamíferos (*Sigmodon hispidus*) e redução na diversidade de insetos predadores em longo prazo (ODUM; BARRETT, 2008, p. 63).

Dessa maneira, a necessidade de se ampliar o contexto analítico com o foco no todo ecossistêmico no estudo da planta, é sempre recomendável, para se ter uma compreensão mais ordenada da natureza, através de um olhar mais amplo, onde se consiga observar as interações nutricionais da planta na relação com o solo, da forma mais abrangente possível.

E, para facilitar a compreensão ordenada do todo ecossistêmico, Odum e Barrett (2008) dividiram a natureza em três níveis de análise: Macrocosmo, Mesocosmo e Microcosmo:

Macrocosmo o mundo natural ou “grande”; os sistemas naturais são usados como base de referência ou medidas de “controle”, como bacias hidrográficas ou paisagens naturais; por exemplo: em ambientes terrestres, a vegetação fornece uma macro característica que “integra”, em si, a flora e a fauna com o clima, a água e as condições do solo, fornecendo a base para o reconhecimento dos principais tipos de ecossistema.

O Mesocosmo, é o “mundo de tamanho médio”, são modelos experimentais mais realistas porque estão sujeitos a fatores ambientais naturalmente pulsantes como luz e temperatura, e podem conter organismos maiores com histórias de vida mais complexas, como o exemplo de Barrett [...], onde a aplicação “recomendada” de inseticida afetou a dinâmica do sistema do mesocosmo como um todo, trazendo efeitos mais negativos do que positivos ao ambiente.

E o Microcosmo, representado por pequenas porções autocontidas em garrafas, aquários ou outros recipientes onde os pesquisadores podem simular em miniatura a natureza do ecossistema.

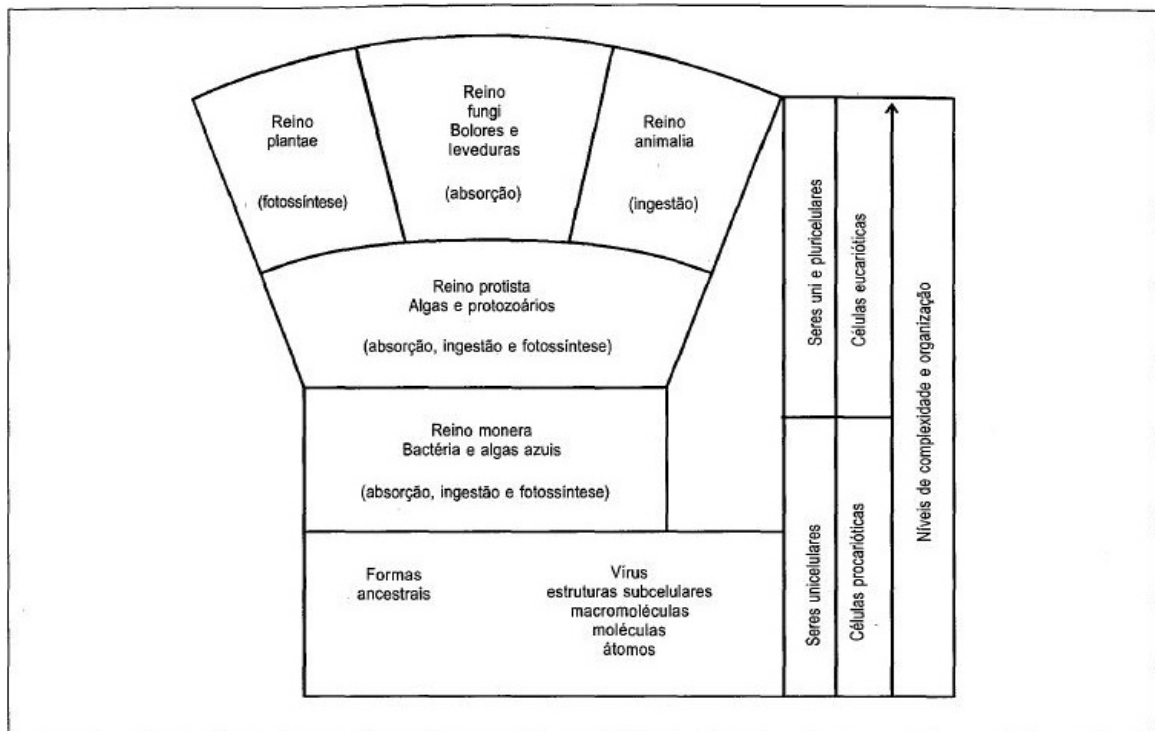
Como pode ser observada, a organização do ambiente “cosmo” é dinamizada em função dos seres vivos que ali interagem com a natureza. O conhecimento básico dessa organização dos seres vivos amplia a compreensão dos processos interativos que envolvem a nutrição de plantas.

6.3.2 Classificação dos Organismos Vivos

Alterthum (2005), exemplificando quando relata que, a partir da descoberta e do início de estudos dos microrganismos, a divisão da organização dos seres vivos em dois reinos (animal e vegetal) no ambiente era insuficiente, comenta que:

O zoólogo E. H. Haeckel, em 1866, sugeriu a criação de um terceiro reino denominado Protista, englobando bactérias, algas, fungos e protozoários. Esta classificação mostrou-se satisfatória até que estudos mais avançados sobre ultra-estrutura celular demonstraram duas categorias de células: as procarióticas e as eucarióticas. Em 1969, R.H. Wittaker, propôs a expansão da classificação sugerida por Haeckel, baseada não só na organização celular, mas também na forma de obter energia e alimento: Reino Plantae; Reino Animalia; Reino Fungi; Reino Protista (microalgas e protozoários); e Reino Monera (bactérias e algas azul-verdes) (figura 1). E, em 1979, estudando as similaridades e diferenças do RNA ribossômico, C. Woese propôs uma nova classificação para os seres vivos: supra-reino Arquibactéria (incluindo bactérias metanogênicas, termófilas, bactérias acidófilas e halófilas); supra-reino Eubactéria (incluindo as demais bactérias e cianobactérias) e supra-reino Eucarioto (incluindo plantas, animais, fungos, protozoários e algas), (ALTERTHUM, 2005, p. 3).

Figura 1 – Classificação e organização dos seres vivos

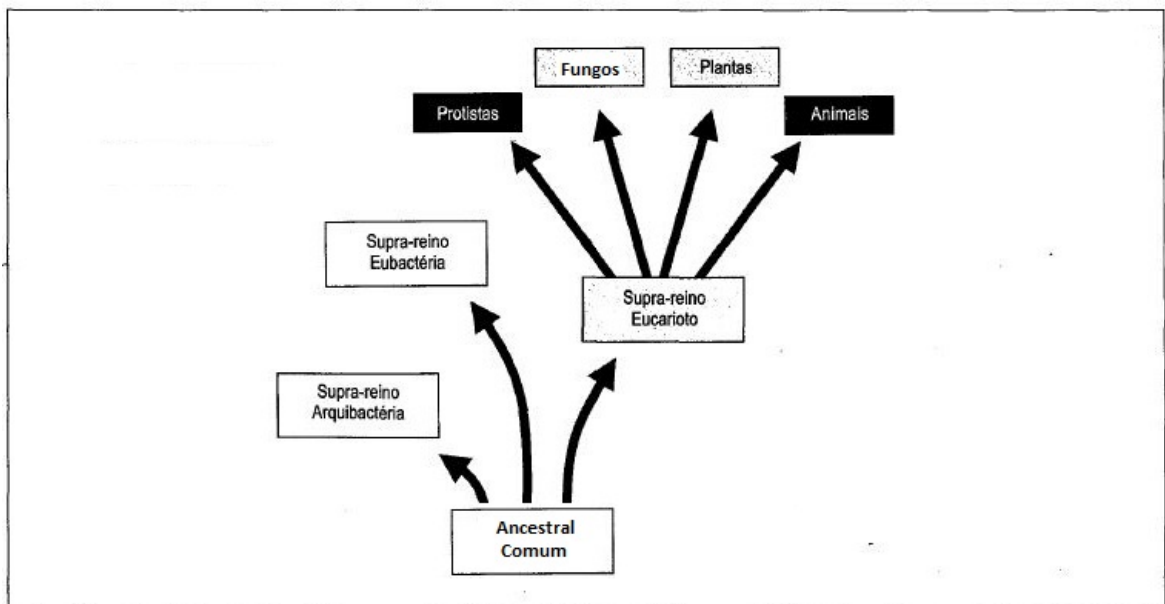


Fonte: Trabulsi e Alterthum (2005, p. 4).

Na Figura 2, pode ser observada a composição da origem dos seres vivos a partir de uma ancestral comum.

Nesse sentido, reforçando a argumentação de Alterthum (2005) e Moreira e Siqueira (2006) complementam “[...] que desde Linnaeus a classificação dos seres vivos tem sofrido várias modificações, procurando refletir as relações filogenéticas entre espécies, considerando suas relações evolutivas”, como pode ser observado na Tabela 1:

Figura 2 – Classificação e origem dos seres vivos proposta por C. Woese, partindo-se de um ancestral comum.



Fonte: Trabulsi e Alterthum (2005, p.4)

Tabela 1 – Histórico dos sistemas de classificação dos seres vivos

Sistema de classificação	Reinos	Organismos incluídos
Linnaeus (1753)	Plantae Animália	Bactérias, fungos, algas e plantas Protozoários e animais superiores
Haeckel (1866)	Plantae Animália Protista	Algas multicelulares e plantas Animais Microrganismos, incluindo bactérias, protozoários, algas, bolores e levedura
Whittaker (1969)	Plantae Animália Protista Fungi Monera	Algas multicelulares e plantas. Animais Protozoários e algas unicelulares Bolores e Leveduras Todas as bactérias (procariotos)
Woese (1979)	Archaeobacteria Eubacteria Eucaryotas	Bactérias que produzem gás metano Todas as outras bactérias, incluindo as mais familiares aos microbiologistas, tais como as causadoras de doenças, as do solo e as da água e fotossintéticas Protozoários, algas, fungos, plantas e animais

Fonte: Moreira e Siquiera (2006, p.23).

Demonstrando, assim, como os novos conhecimentos dos estudos disciplinares e interdisciplinares trazem de maneira técnica e científica, novas possibilidades de análise nos processos interativos ambientais. Quando observados sob o foco da sociedade com a natureza; Zanoni et al. (2002) comentam que a colaboração múltipla entre as “[...] ciências físico-naturais, disciplinas técnicas e ciências sociais torna-se absolutamente imprescindível, uma vez que se trata de analisar não somente a complexidade dos sistemas físico-naturais, mas também aquela, ainda maior, da interação entre a sociedade e a natureza”. Esse olhar interativo das relações entre a sociedade e a natureza possuiu uma força intrínseca como também extrínseca, servindo este exemplo neste momento, como um registro das possibilidades de análises que se abrem na discussão da interação ambiental, na qual os estudos de nutrição de plantas se situam.

6.3.3 A Estrutura Trófica da Planta sob o Olhar Interdisciplinar

O aprimoramento dos instrumentos e métodos de pesquisa melhorou a compreensão do sistema de produção de alimento e energia para a planta formando os estudos no campo da nutrição de plantas por microrganismos.

O conhecimento de que a estrutura trófica é dividida em duas

camadas produtoras de energia e alimento, uma superior, chamada de estrato autotrófico (que se auto-alimenta), ou cinturão verde, composto por plantas que contém clorofila, que fixa a energia luminosa; e outra, na camada inferior, ou cinturão marrom, chamada de estrutura heterotrófica, onde o material orgânico como raízes, sedimentos e outros componentes, é acumulado no solo, predominando o uso, o rearranjo e a decomposição dos materiais complexos (ODUM E BARRETT, 2008), facilitou a compreensão da dinâmica das relações interativas da planta com o solo.

É importante também destacar, que apesar dos processos autótrofos e heterótrofos estarem parcialmente separados no espaço (cinturão verde e cinturão marrom, respectivamente) e no tempo, a separação das funções básicas no tempo pode provocar uma defasagem considerável no uso heterotrófico dos produtos dos organismos autotróficos:

Porque o processo de fotossíntese predomina na copa do ecossistema florestal, somente uma parte, quase sempre pequena, do fotossintato é imediatamente e diretamente usada pela planta e pelos herbívoros e parasitas que se alimentam das folhagens e de outros tecidos da planta em crescimento ativo. Muito do material sintetizado (folhas, madeira e alimento armazenado nas sementes e raízes) escapa do consumo imediato e pode atingir a serapilheira e o solo (ou os sedimentos equivalentes dos ecossistemas aquáticos), que juntos constituem um sistema heterotrófico bem definido (ODUM; BARRETT, 2008, p.22).

É interessante a importância dada, neste momento, ao tempo cronológico e ao tipo de ambiente ecossistêmico. No tocante ao tempo do uso dos produtos oriundos dos processos autótrofos e heterótrofos, que ocorrem ao redor da planta, na concepção desses autores, podem passar semanas, meses ou anos (ou muitos milênios, no caso dos combustíveis fósseis, que as sociedades humanas consomem com rapidez) antes que seja usada toda a matéria orgânica acumulada.

E, prosseguindo nas suas explanações, os autores observam “[...] que o ponto em uma gradiente de luminosidade na qual as plantas mostram o exato equilíbrio entre produção e uso do alimento é chamado de profundidade de compensação e marca um limite funcional entre o estrato autotrófico e o heterotrófico” (ODUM; BARRETT, 2008).

Outra característica dos microrganismos, segundo ainda os autores acima citados, é que muitas espécies e variedades de bactérias que não são tão

especializadas, são adaptadas para serem intermediárias ou para se deslocarem entre autotrofia e a heterotrofia, com ou sem oxigênio, sendo uma condição universal de que a distinção entre autótrofos e heterótrofos seja nítida entre as formas de vida multicelulares. Em todos os ecossistemas, terrestre, de água doce, marinho ou fabricados pelos humanos (por exemplo, agrícolas), a interação dos componentes autotróficos e heterotróficos está presente.

Portanto, pode-se concluir que a dinâmica do ambiente cosmo, onde se processam as relações interativas da nutrição de plantas, exige do observador uma infinidade de considerações que estão vinculadas na ambientação da planta, ficando seu desenvolvimento, dependente dos componentes antrópicos e ambientais, como também do tempo e de um determinado espaço.

A relação tempo e espaço tem uma dimensão muitas vezes incomensurável no contexto ecossistêmico da nutrição de plantas, admitindo múltiplas relações, que escapam ao observador não atento às várias possibilidades de interações que ali se processam, como a sua amplitude de análise. Este fato justifica esta discussão, na procura de estabelecer uma base para compreensão da interação ambiental, através dos processos que ocorrem na nutrição de plantas por microrganismos. É necessário, que seja estabelecida no contexto da pesquisa agrônoma, uma análise mais ampla e interdisciplinar em seus objetos de estudos, a fim de que as pesquisas não fiquem de fora das discussões ambientais que a sociedade demanda.

Dessa maneira outro pesquisador, Raynaut (2004), comentando sobre a questão de um olhar mais amplo através dos estudos interdisciplinares, ao abordar o tema sobre a questão ambiental assinalou que:

Os processos abrangidos pela noção de meio ambiente se desenvolvem por meio de múltiplas escalas de espaço e tempo e movimentam uma enorme diversidade de níveis de organização. Da molécula até o ecossistema, do local até a paisagem na sua globalidade, muitos são os níveis de organização a levar em conta na elaboração de um modelo explicativo relativo a uma situação ambiental. O ritmo das dinâmicas observadas muda segundo as escalas de observação adotadas, passando do instantâneo ao longo tempo geológico. Isso é evidente, quando se tratar de sistemas físicos e biológicos (RAYNAUT, 2004, p. 27).

Fatos que, com certeza, são vivenciados pelos pesquisadores. Entretanto, pouco relatados por força do modelo de análise cartesiano que a ciência

adota.

Raynaut (2004) retratou com precisão em seu enunciado sobre a interdisciplinaridade o foco desta abordagem, que, de maneira intrínseca, busca chamar a atenção sobre o envolvente debate ambiental travado pela agricultura com a sociedade, sob a ótica do problema da perda da biodiversidade, visto e vivido no contexto mundial.

Por isso é necessário nesta argumentação, que não se deixe de registrar que a discussão ambiental, em especial da biodiversidade, segundo Becker (2001):

Está no centro dos debates mundiais quanto à reestruturação do padrão de desenvolvimento, da mercantilização da natureza e da sobrevivência humana, e se expressa em conflitos de uso e de escolha pelas sociedades. A biodiversidade diz respeito tanto a genes, espécies, ecossistemas, quanto a funções, e coloca problemas de gestão muito diferenciados. É carregada de normas de valor, e pode significar proteger populações, cujos sistemas de produção e cultura repousam num dado ecossistema, e pode significar, igualmente, defender os interesses comerciais de firmas que se utilizam de matéria-prima para produzir mercadorias (BECKER, 2001, p. 93).

Não havendo como a pesquisa agrônômica desconsiderar essas questões, pois, como relata Costa (2008, p. 61):

O desenvolvimento sustentável é, atualmente, o paradigma dominante que guia o planejamento do desenvolvimento. A agricultura como atividade fornecedora de alimentação, fibra e abrigo para a população humana, apresenta um papel maior, relativamente aos demais setores de atividade, no caminho em direção ao desenvolvimento sustentável. A determinação de definições e metodologias operacionais, que permitam a aplicação de conceitos no processo de tomada de decisão, tem apresentado sérias dificuldades, revelando-se uma clara necessidade de aprofundamento da noção dos mesmos.

Não é intenção deste trabalho, aprofundar a discussão sobre a sustentabilidade, mas registrar que é de suma importância a questão dos conceitos e metodologias pertinentes à questão da sustentabilidade.

Ao que tudo indica, para alguns, a biodiversidade ainda está no caminho de passagem do desenvolvimento agrícola, mas a sociedade olha este fato de maneira diferente e a academia repensa a questão ambiental, correndo a passos

largos em favor de uma nova maneira de produzir, com a clara certeza de ampliar os olhares e os valores sobre o assunto, visto que:

A avaliação da biodiversidade de ecossistemas e paisagens é, possivelmente, a mais polêmica, causada talvez pelas diversas abordagens disciplinares que enfocam o mesmo objeto de estudo. A reflexão metodológica abarca aqui não somente as novas técnicas, mas também o quadro conceitual das pesquisas que utilizam técnicas: Ecologia, Pedologia, Agronomia, Geografia podem convergir na resolução do problema, sob condição de delimitar objetivos comuns e de resolver as mudanças de escala espaços-temporais, possibilitadas pelas novas tecnologias (GARAY E DIAS, 2001, p.13).

Neste particular, é importante reafirmar a necessidade da convergência do conhecimento interdisciplinar, que se preocupam com as escalas e dimensões do espaço-tempo para o aprimoramento de técnicas e métodos de abordagem conceitual e metodológica, na ampliação dos horizontes, repensando a questão ambiental. Não só com as novas tecnologias, mas com novos valores, que possibilitem, através da ética e da justiça ambiental, o encontro saudável de novas idéias para solução dos impasses técnicos, metodológicos, conceituais e de interesses múltiplos, que envolvem a problemática ambiental.

A biodiversidade pode ser vista como um recurso e/ou como uma propriedade de vida. Conforme observa Younés (2001) “[...] os microrganismos constituem um recurso genético de grande potencial para o desenvolvimento sustentável no planeta, assim como para a manutenção da saúde do homem, de animais e de plantas”.

Dessa maneira, pode-se confirmar que, trabalhar com a abrangência do uso do conhecimento ecossistêmico na nutrição de plantas, é uma forma de se conhecer melhor os processos que compõem a biodiversidade, fato que possibilita buscar a compatibilização dos modos produtivos com conservação da natureza na produção agrícola.

6.3.4 O Solo e a Interação dos Microrganismos na Nutrição da Planta

Dentre os elementos que compõem o cenário das interações ambientais para o desenvolvimento da planta, um importante destaque deve ser dado ao solo. Numa referência especial sobre a sua complexidade, amplitude e

importância para as plantas, Wrightson e Newshan (1919), comentam que:

Quando consideramos a extrema antiguidade, o caráter complexo, a perpétua renovação, a evolução constante da matéria gasosa e os aportes de matéria vegetal procedentes das plantas, que ocorrem em todos os solos férteis, nada podem deixar de ser “tocado” por seu encanto e admiração. O solo é uma “sepultura” no mais amplo sentido desta palavra, roda mestra da vida que se renova. Se algum ente pode demonstrar a possibilidade de ressurreição, este ente é o solo, sobre o qual caminhamos. Igualmente fascinante, é que o solo não é uma massa inerte, senão o cenário de infinitas reações e transformações, que ocorrem, não somente por ação química, senão também pela intervenção dos organismos vivos (apud ANDRADE, 1995, p.3).

Com relação a esse assunto, Carson (1964) comenta sobre a importância da natureza e os seres vivos numa perspectiva histórica:

Se é exato que a nossa vida, baseada na Agricultura, é dependente do solo, também é verdade que o solo depende de nossa vida, uma vez que as suas próprias origens e a manutenção da sua verdadeira natureza se encontram intimamente relacionadas as plantas e aos animais, que são seres vivos. Porque o solo é, em parte, uma criação da vida, desde infinitas idades passadas (CARSON, 1964, p. 63).

A importância dada por Carson à agricultura, dependendo diretamente do solo na sustentação e continuidade da vida neste planeta, nos encaminha para busca de uma compreensão maior do solo. Carneiro (2008) caracteriza o solo em três fases:

A fase sólida do solo apresenta:

Um conjunto de propriedades como textura, estrutura, conteúdo e tipo de minerais de argila e tipo de matéria orgânica muito importante para o entendimento dos fenômenos físico-químicos que ocorrem no solo, em função dos diferentes tamanhos das partículas minerais e da quantidade de sua superfície de contato. Quanto menor a partícula, maior a quantidade de superfícies e de partículas para reação e atração entre si e da sua agregação. Esse arranjo afeta a fertilidade e a disponibilidade dos nutrientes no solo para a planta (CARNEIRO, 2008, p.12).

A fase gasosa é encontrada nos espaços entre os minerais, armazenando composto de O₂, CO₂, N₂, dentre outros gases fundamentais nas relações aeróbias. São espaços onde insetos, como formigas, cupins, entre outros

animais participam dando grande contribuição na formação de canais de aeração no solo.

E a fase líquida:

Constituída pela solução do solo, contendo espécies dissociadas, partículas coloidais minerais e orgânicas, resultado das reações de dissociação e ionização das moléculas de seus minerais, que ocorrem entre as fases sólida e gasosa do solo. O estudo da solução do solo propiciou o conhecimento dos processos químicos (sorção, dissolução e precipitação), que produzem de 100 a 200 complexos solúveis diferentes e sua composição é indicadora da biodisponibilidade e da força iônica da solução.

A solução do solo é fundamental na interação solo-planta. Nesta questão Andrade (1995) observou que, para a planta se valer da condição nutricional do solo plenamente “[...] os nutrientes minerais devem estar na forma solúvel, para que possam ser captados pela raiz da planta”. Segundo Carneiro (2008), “[...] quando os nutrientes, presentes na solução do solo não são aproveitados pelas plantas, eles, rapidamente, são lixiviados, deixando um solo pobre, incapacitando o uso agrícola”. A absorção de nutrientes pela planta afeta diretamente o equilíbrio da solução do solo, que é responsável pela biodisponibilidade.

A incapacidade do uso agrícola geralmente é provocada pela maneira incorreta do seu uso como também por processos naturais. Isto deve ser uma preocupação agrônômica e ecossistêmica constante.

A incapacidade decorrente da degradação do solo é o resultado de várias interferências no ecossistema que causam a perda de funções e desequilibram seu funcionamento. Caracterizam-se pela redução da capacidade do solo em sustentar a vida dos organismos produtores e consumidores, assim como das funções ecológicas, ocasionando declínios sobre a estrutura e a funcionalidade dos ecossistemas. As interferências podem ocorrer tanto nos ecossistemas naturais, quanto nos agrossistemas, através da remoção ou substituição da vegetação da camada superior do solo; da matéria orgânica do solo; da biodiversidade; da atividade de biota e da própria fertilidade do solo; tendo como consequência a perda de processos e funções-chave na sustentabilidade do solo (SIQUEIRA et al., 2007).

A perda da capacidade produtiva do solo leva a um debate envolvendo a abertura de novas áreas de fronteira para produção agrícola e os investimentos para recuperação de solos em áreas já agricultadas que perderam sua

capacidade produtiva, principalmente, por falta de manejo adequado. Nesse sentido, visando estabelecer o equilíbrio para uso agrícola do solo e “[...] para que a planta não sofra de carência nutricional, é necessário que seja cultivado em solo fértil, quimicamente equilibrado” (CARNEIRO, 2008). Segundo a visão química da Agronomia:

Entende-se por um sistema em equilíbrio quando o balanço de cargas positivas e negativas está satisfeito e que na medida em que se realizam as trocas, este seja capaz de estabelecer o mesmo equilíbrio anterior. Em um solo, este equilíbrio precisa ser constantemente restabelecido, pois as trocas são feitas entre as plantas e as perdas por lixiviação ou processos ambientais naturais. Em condições definidas de temperatura, pressão e força iônica do ambiente, todos os processos químicos tendem a alcançar o estado de equilíbrio. Como o solo é um sistema dinâmico, espécies do sistema inicial continuam passando para o sistema final e assim por diante. Quando uma força atua sobre o sistema em equilíbrio, ele tende a modificar-se sempre no sentido da estabilização do sistema (CARNEIRO, 2008, p.15).

Para que a o efetivo processo de nutrição de planta “[...] é necessário na prática agrícola que o sistema seja induzido”, segundo Veloso et al. (1992), quando necessário.

Na concepção de Carneiro (2008), os solos menos intemperizados são mais férteis, pois ainda contem elevados teores de cálcio, magnésio ou potássio e, desta forma, alta capacidade de troca catiônica (CTC). Os solos mais intemperizados adquirem propriedades ácidas, devido às perdas dos cátions e substituição destes por alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio (H^+) na superfície do colóide, exigindo a aplicação de corretivos e adubos, os quais elevam o potencial hidrogeniônico (pH), neutralizando o efeito dos elementos tóxicos, e fornecem cálcio, magnésio, potássio e fósforo.

Dentre as práticas agrícolas de correção do solo, “[...] a calagem é a mais utilizada no controle da acidez do solo, pois aumenta o pH e promove a neutralização de Al^{3+} e H^+ , resultando em aumentos na CTC e na energia de ligação pelos cátions de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+})” (CARNEIRO, 2008). A co-aplicação de calcário + fósforo (P) + potássio (K^+) + silicatos (Si), possibilita o restabelecimento do equilíbrio químico do solo, segundo o autor. E “[...] o comportamento e a eficiência dos corretivos dependem de suas características, como a natureza química, o poder de neutralização, a solubilidade, a granulometria e etc.” (VELOSO et al., 1992).

É importante considerar que, em função do dinamismo demonstrado na relação entre elementos físicos e químicos na nutrição de plantas, quando um plantio é realizado este requer nutrientes para seu desenvolvimento; assim, um novo equilíbrio terá que ser restabelecido. [...] Na falta dos elementos químicos necessários para a sua nutrição a planta absorverá o que estiver sendo oferecido pelo solo; entretanto, este suprimento poderá causar toxicidade e pouco desenvolvimento, pois, certamente, a maior oferta será de alumínio (Al^{+3}) e hidrogênio (H^+), se o solo não estiver em equilíbrio (CARNEIRO, 2008).

Tomando como exemplo a preocupação da atividade agrícola com o equilíbrio do solo, no cenário mundial, a Organização das Nações Unidas – ONU (2002) também vem procurando implantar ações globais para viabilizar o equilíbrio entre as relações dos setores produtivos da sociedade com o ambiente, através do balanço energético demandado no sistema de produção agrícola. Ao avaliar a perda da biodiversidade provocada pelo impacto da ação antrópica, tomando como pressuposto de que a biodiversidade é a base da produção agrícola, concluiu que, se algo não for feito pela sociedade para mudar o modelo atual de produção, a sustentabilidade da vida no planeta estará gravemente comprometida.

Este alerta foi renovado na abertura da décima edição da Conferência das Partes sobre Biodiversidade (COP-10) que ocorreu no ano de 2010 no Japão, pelo diretor do programa para meio ambiente das Nações Unidas. Achim Steiner enfatizou a importância da biodiversidade ao afirmar enfaticamente que o homem está acabando com a vida na Terra: "Este é o único planeta no Universo em que sabemos que existe vida como a nossa e estamos destruindo as bases que a sustentam", alertou Steiner.

É importante registrar que a ação antrópica vem alterando, aceleradamente, o cenário de sustentabilidade do meio natural com redução da biodiversidade, pelo uso excessivo de agroquímicos, em consequência dos cultivos agrícolas intensivos; fato que reduz de modo significativo e diferenciado a presença de microrganismo no solo, provocada pela seletividade e uniformidade das espécies cultivadas de plantas no sistema agrícola. Ressaltando, dessa maneira, a importância dos microrganismos nas atividades agrícolas com maior volume e intensidade.

Outra questão a ser lembrada, conforme dados da própria ONU em 2010 o Brasil possui 15% de toda biodiversidade da Terra, que deve ser preservada.

Daí a importância do seu exemplo na discussão do seu quadro ambiental perante a agricultura.

Enquanto que as práticas agrícolas ancestrais contribuíram para o aumento da biodiversidade ao longo dos séculos, a intensificação da agricultura no século XX, nomeadamente a mecanização e o uso de pesticidas de síntese, em especial após a segunda guerra mundial, provocou uma diminuição das áreas naturais e seminaturais e, conseqüentemente, da biodiversidade associada aos ecossistemas agrários (AMARO ET AL, 2008, p.44).

A bióloga Rachel Carson, na década de 1960, em relação ao controle de insetos e redução da biodiversidade em função do uso intensivo e seletivo de plantas na agricultura fez a seguinte avaliação:

Sob as condições agrícolas primitivas, o fazendeiro enfrentava poucos problemas relativos a insetos. Tais problemas surgiram com a intensificação da agricultura – com a entrega de imensas quilometragens quadradas a um único gênero de colheita. Este sistema preparou o terreno para aumentos explosivos das populações de insetos específicos. O cultivo da terra com um único gênero de plantação não tira vantagem dos princípios pelos quais a natureza opera; a agricultura dessa maneira é agricultura como o engenheiro concebe. A natureza introduziu grande variedade na paisagem; mas o homem vem acusando inclinação para simplificá-la. Assim, o homem desfaz os controles e equilíbrio intrínsecos, por meio dos quais a natureza mantém as espécies dentro de determinados limites. Um controle natural, muito importante, é o que impõe um limite a quantidade de área habitável adequada a cada espécie (CARSON, 1964, p. 20).

Portanto justifica-se o aumento da cobrança pela sociedade sobre a reutilização de práticas de cultivo conservacionista, iniciando com a adequação das condições físicas do solo, visando à convivência sustentável da planta, que garantem o retorno do funcionamento dos processos fundamentais do novo ecossistema e seu equilíbrio, principalmente relacionado ao ciclo do carbono (C) e do nitrogênio (N), (SIQUEIRA ET AL., 2008).

Há também outras importantes interações solo-planta, planta-microrganismos, relatadas por Odum e Barrett (2008, p. 23), que resultam na produção de vários elementos e substâncias:

- (1) substâncias inorgânicas (C), (N), oxigênio (O₂), água (H₂O) e outros envolvidos em ciclos de materiais;
- (2) compostos orgânicos (proteínas, carboidratos, lipídeos,

substâncias húmicas e outros) que conectam os componentes bióticos e abióticos;

(3) ambiente de ar, água e substrato, incluindo regime climático e outros fatores físicos;

(4) produtores (organismos autotróficos), na sua maioria plantas verdes, que podem produzir alimento de substâncias inorgânicas simples;

(5) fagótrofos (de *sapro* = “decompor”) ou decompositores, também organismos heterotróficos, principalmente bactérias e fungos, que obtêm energia degradando tecidos mortos ou absorvendo matéria orgânica dissolvida exsudada, extraída de plantas ou outros organismos. Os saprófagos são organismos que se alimentam de matéria orgânica morta. As atividades decompositoras dos saprótrofos liberam nutrientes inorgânicos, que são usados pelos produtores, que também fornecem alimento para macroconsumidores e, freqüentemente, excretam substâncias que inibem ou estimulam outros componentes bióticos do ecossistema.

Neste contexto, a ação dos microrganismos na decomposição e na ciclagem de nutrientes entre o solo e a planta apresenta-se de maneira fundamental, por viabilizar inúmeras interações nos processos estruturais e funcionais, servindo de exemplo para compreensão da sua dinâmica interativa, desde o processo de intemperismo da rocha para formação do solo.

Younés (2001, p. 37) apresenta as seguintes relações dos microrganismos com outros organismos relatados a seguir:

Os microrganismos exibem a maior amplitude de diversidade genética na Terra. Menos de 5% dos microrganismos mundiais foram descritos até hoje e é possível que seu número real exceda até mesmo o de insetos. Inúmeros microrganismos, tais como: algas, bactérias (incluindo cianobactérias e micoplasmas), fungos (bem como líquens e leveduras), protozoários, viróides e vírus, são essenciais para a sobrevivência de todos os organismos, como componentes básicos de cadeias alimentares e desempenham papéis cruciais e únicos nos ciclos biogeoquímicos do planeta. Eles são vitais para o funcionamento e manutenção dos ecossistemas e, em geral, da biosfera. Como contribuintes principais nos ciclos biogeoquímicos, desempenham atividades únicas e indispensáveis na circulação geral da matéria, da qual dependem todos os demais organismos, inclusive o homem.

Carson (1964, p. 64) ao caracterizar o papel dos microrganismos no solo, aponta que:

As bactérias, os fungos ou cogumelos e as algas, são os agentes principais da deteriorização; reduzem os resíduos das plantas e de animais aos seus componentes minerais. Os vastos movimentos cíclicos dos elementos químicos, tais como o carbono e o nitrogênio,

através do solo e do ar, bem como os tecidos vivos, não poderiam efetuar-se sem essas micro plantas. Sem as bactérias fixadoras de nitrogênio, por exemplo, as plantas morreriam de fome, por falta de nitrogênio, embora circundadas por um interminável oceano de ar atmosférico que contém nitrogênio. Outros organismos formam dióxido de carbono, que, como o ácido carbônico, concorre para a dissolução das rochas. Outros micróbios, ainda, do solo, levam a termo vários tipos de oxidação e de redução, por via dos quais certos minerais, tais como o ferro, o manganês e o enxofre, são transformados e tornados disponíveis para as plantas.

E, neste contexto, Andrade (1995) comenta que o solo é considerado um habitat favorável à proliferação de microrganismos, que formam microcolônias nas partículas do solo, podendo ser considerados um conjunto de microhabitats, pois as bactérias encontradas no solo podem ser aeróbias, anaeróbias, facultativas e microaerófilas, permitindo, assim, a existência de diversos microhabitats de vários gêneros de microrganismos.

Os microrganismos, em seu habitat, participam ativamente em inúmeros processos interativos entre o solo e a planta, e podem auxiliar a sociedade no processo de recuperação de áreas degradadas, através dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que representam um componente quantitativo e qualitativo significativo nos ecossistemas, pois exercem grande influência no crescimento e na adaptação das plantas aos estresses bióticos e abióticos no solo, beneficiando-se disso, como pode ser observado na Tabela 2.

Segundo Moreira e Siqueira (2006), o processo de revegetação de uma área degradada pode ser apontado como uma modalidade de proteção do solo por garantir a proteção e a recuperação por meio da alocação e incorporação de C e ciclagem dos nutrientes, permitindo o restabelecimento da cadeia trófica e as regularizações térmicas e hídricas, criando um novo hábitat para os microrganismos.

Prosseguindo nesse sentido, Soares e Carneiro (2010, p. 442) assinalam que:

Os benefícios dos FMA para o crescimento e a sobrevivência das plantas resultam de vários efeitos e mecanismos nutricionais e não nutricionais, os quais possibilitam o seu uso em programas de recuperação de áreas degradadas. Os efeitos nutricionais são os mais evidentes e consistentes, e determinam o caráter biofertilizante dos FMA que resulta, principalmente, da ação direta do fungo na absorção e na utilização de nutrientes, e na ação indireta na fixação biológica de N, mineralização e/ou solubilização de nutrientes da rizosfera e na nutrição balanceada na planta.

Tabela 2 – Efeitos das micorrizas arbusculares sobre as plantas e favorecimento de processos reabilitadores de áreas degradadas

Efeito sobre as plantas	Processos reabilitadores
Melhoria nutricional	Favorece o estabelecimento da vegetação
Tolerância a estresses abióticos	Aumenta a produção de material orgânico
Menor estresse do transplante	Favorece o acúmulo de nutrientes na fitomassa
Favorecimento das relações hídricas	Aumenta a produção de raízes
Efeitos Fisiológicos (CO ₂ , N ₂)	Confere maior proteção ao solo (estabilização)
Efeitos indiretos	Favorece as relações tróficas
Raízes e micélio (agregação)	Favorecem indiretamente o fluxo hídrico (erosão)
Relações entre plantas: nutrientes	Estimula a transformação e ciclagem dos nutrientes
Competição	Favorece a estruturação e sucessão vegetal
Espécies coexistentes	

Fonte: Soares e Carneiro (2010, p.442).

Segundo Andrade (1995), os microrganismos participam na captação de nutrientes através do sistema rizosférico, fato que viabiliza a mobilização e a solubilidade de minerais insolúveis, disponibilizando-os para a planta pela ação de microrganismos, influenciando na disponibilidade de minerais às plantas, sendo capazes de captar nutrientes em sítios de forma moleculares que as raízes não conseguem. Alguns grupos de microrganismos aumentam a disponibilidade do fósforo através da sua solubilização. Em condições de solo estéril, o autor comenta, ainda, que as plantas inoculadas com microrganismos solubilizadores de fósforo apresentam níveis maiores de fósforo em seus tecidos, que as plantas controle. E, que a produção de ácidos orgânicos é o principal mecanismo da solubilização de fósforo. Estes dissolvem os fosfatos da rocha liberando o fósforo em formas solúveis. Em solos ácidos ricos em ferro (Fe) e com alto conteúdo de alumínio (Al), e em solos alcalinos ricos em cálcio (Ca), alguns nutrientes essenciais como o fósforo podem estar imobilizados pela formação de complexos insolúveis.

No contexto simbiótico, a sobrevivência dos microrganismos e da planta ocorre pela reciprocidade de oferta de nutrientes para ambas as partes, pois:

A atividade microbiana tem como principal fonte de nutrientes os compostos orgânicos excretados, principalmente, pelas raízes na forma de exsudatos. Os exsudatos são formados, principalmente, por açúcares, aminoácidos, carboidratos, ácidos orgânicos, vitaminas, enzimas, compostos voláteis de baixo peso molecular como alcoóis, ácidos graxos, compostos sulfurados, etc. A composição dos exsudatos varia com a espécie e estágio de crescimento da planta, que, em suas diferentes fases, altera qualitativamente e quantitativamente a composição da comunidade microbiana (REIS et al., 2010, p.363).

A atividade microbiana “depende e se beneficia dos componentes orgânicos sintetizados pela planta, que são liberados pelo sistema rizosférico, fundamentalmente mediante a produção dos denominados exsudatos radicais” (ANDRADE, 1995, p.4).

A captação de nutrientes pela planta vai depender tanto da velocidade com que os nutrientes chegam a superfície da raiz, quanto da captação da própria raiz (Tinker, 1980; Tinker y Gildon, 1983). Dado que a velocidade de captação de nutrientes é superior ao do movimento deste, fazendo a planta formar uma zona de deficiência, ao redor da raiz. Esta zona é mais acentuada em solos de baixa fertilidade (ANDRADE, 1995, p.28).

Demonstrando dessa maneira que a ação dos microrganismos na remediação de solos transpõe a discussão sobre nutrição de plantas, por meio de outros processos interativos com o solo:

Estudos realizados nas mais diversas situações de degradação no mundo todo – como solos agrícolas; áreas desmatadas; áreas mineradas; áreas de construção civil; solos contaminados por metais e produtos químicos; e áreas desertificadas – têm demonstrado a importância e o potencial das micorrizas como agentes recuperadores de áreas impactadas (SOARES; CARNEIRO; 2010, p. 442).

Pode-se concluir que, no sentido ecológico, a interação dos microrganismos com o solo e a planta é um pressuposto ecossistêmico fundamental, pois não há como dissociar a relação nutricional das plantas no solo da relação com os microrganismos.

Como se sabe, a maioria das plantas dos ecossistemas terrestres interage com fungos micorrízicos na forma de simbiose. Essas interações, embora se diferenciem quanto ao hospedeiro e estruturas formadas durante o ciclo de vida do fungo, são classificadas em alguns tipos principais. A mais freqüente e abundante é a das micorrizas arbusculares (MA). Neste caso, a simbiose ocorre entre a planta hospedeira e o fungo pertencente à classe Glomeromycota, e esta interação é obrigatória, isto é, o fungo só completa seu ciclo de vida na presença do hospedeiro, a planta. (REIS et al., 2010, p.362).

Segundo Reis et al. (2010), “ [...] as plantas são colonizadas por microrganismos benéficos e maléficos e o balanço da produção final de biomassa do hospedeiro é a somatória do ténue equilíbrio entre as partes envolvidas” e pode-se dizer, segundo os autores, que as interações entre plantas e microrganismos são reguladas por mecanismos de “feed back” positivos e negativos, de acordo com as necessidades dos mesmos.

Portanto, a dinâmica interativa que se estabelece nessa relação simbiótica, sustenta também um pressuposto ecológico, que é a sustentabilidade da vida, por meio da sobrevivência do microrganismo com a planta no solo.

De maneira geral, os microrganismos presentes nas interações, desde as formas mais simples às mais complexas no ambiente, “[...] podem produzir no solo substâncias que estimulam ou inibem o desenvolvimento da planta hospedeira, que também podem produzir substâncias alelopáticas que inibem o desenvolvimento de outras plantas” (ATLAS; BARTHA, 1987 apud ANDRADE, 1995).

Para que a planta leve a efeito essa relação interativa no solo com os microrganismos, esta:

Inicialmente, emite sinais químicos que atraem especificamente determinados grupos de microrganismos. Esta seleção, determinada pelos processos de seleção natural no meio ambiente, ocorre em cada fase do desenvolvimento da planta, e está baseada na produção por diferentes moléculas orgânicas, que suprem as exigências nutricionais de grupos concretos de microrganismos, que, por sua vez, aportam os compostos que a planta requer a cada momento (ANDRADE, 2004).

Durante a formação do FMA ocorre um intercâmbio de sinais, que é regulado pelo genoma de ambos organismos. A integração dos simbiossantes se produz no nível estrutural e, fundamentalmente, no nível fisiológico e no bioquímico.

O fungo, ao colonizar a raiz, transfere às células nutrientes provenientes do solo e gera trocas nos níveis metabólicos e enzimáticos na planta. Andrade (1995), no seu estudo sobre interações de rizobactérias fixadoras de N₂ não simbióticas com fungos micorrízicos na rizosfera de plantas de milho observou, no processo dessa associação, que o fungo colonizou o córtex da raiz, a partir do qual desenvolveu um micélio externo altamente efetivo na captação de nutrientes.

Prosseguindo, Andrade (1995) comenta que, na maioria dos casos, as micorrizas participam ativamente na captação de nutrientes para a planta, atuando como um complemento do sistema radicular, sendo as micorrizas arbusculares (MA) o grupo mais importante de fungos relacionados com a nutrição da grande maioria das espécies vegetais de interesse agrônômico.

Segundo Strohl, et al. (2004), “[...] O micélio é uma massa de filamentos e cresce por ramificações e alongação de ápice. Os filamentos, denominados hifas, são, na verdade, células tubulares que, em fungos, são separadas ou denominadas por filamentos”.

Os FMA podem também promover efeitos adicionais à melhoria da qualidade nutricional da planta, considerados secundários, ou como ação biorreguladora, a qual se relaciona com a produção de substâncias estimulantes de crescimento, melhoria na relação água-planta e alterações bioquímicas fisiológicas. Os FMA também atuam como biocontroladores, quando reduzem a severidade ou agentes bióticos e amenizam os danos causados por estresses abióticos, principalmente estresses hídricos, além de promoverem a melhoria na agregação do solo (SOARES; CARNEIRO; 2010, p. 442).

A maioria dos estudos com microrganismos focaliza a simbiose com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) devido à sua importância agrícola, ocorrendo em culturas de interesse e cultivadas nos trópicos. Tanto a colonização, quanto a esporulação do FMA apresentam resultados diferenciados quando fatores ambientais são mensurados, devido ao fato de que por via de regra:

As interações microbianas são expressas por fenômenos de antagonismo, competição, sinergismo, positivo e negativo, que têm lugar, tanto no solo rizosférico quanto no rizoplano, e tem uma transcendência considerável. Na realidade, constituem uma parte dos fenômenos biológicos da rizosfera. Dessas interações, são fundamentais as que podem determinar o êxito e o fracasso da introdução no solo de microrganismos, que, aplicados como inoculantes, são utilizados tanto como biofertilizantes quanto no controle biológico de patógenos da raiz (bioinseticidas) (ANDRADE, 1995, p. 3).

A efetiva interatividade microbiana com os elementos físico-químicos e biológicos produz esse cenário de complexidade, razão pela qual a discussão desses processos foi iniciada pelo conhecimento do solo, por que:

As interações entre os microrganismos estão baseadas nas modificações interativas que ocorrem no solo. Entre estas, cabe destacar as relações hídricas, a liberação de substâncias orgânicas pelas raízes, a produção de fatores de crescimento, os fenômenos de mineralização e solubilização de nutrientes pelos microrganismos, etc. Na rizosfera, as plantas têm uma influência direta na composição e densidade da comunidade microbiana, conhecida como efeito rizosférico, este efeito está ligado ao estágio de maturidade da planta (ANDRADE, 1995, p 12).

Dessa maneira o conhecimento da rizosfera é fundamental para a compreensão dessas interações, pois a rizosfera é a zona do solo que é “[...] influenciada pela presença das raízes e onde ocorre uma infinidade de interações com diferentes níveis de complexidade” (REIS et al., 2010) e pode ser compreendida observando que:

Os microrganismos que vivem na rizosfera são influenciados pela atividade das raízes e são fundamentais para os sistemas agrícolas e naturais, por participarem ativamente dos ciclos biogeoquímicos e da ciclagem da matéria orgânica. Além disso, a comunidade microbiana pode influenciar o enraizamento, produzir substâncias promotoras do crescimento, facilitar a absorção de nutrientes, proteger a planta contra patógenos (REIS et al., 2010, p. 362).

Segundo Andrade (1995), os microrganismos da rizosfera “[...] produzem compostos orgânicos que afetam o crescimento do sistema radical. Assim, podem sintetizar auxinas e giberelinas, que aumentam a porcentagem de germinação de sementes e o desenvolvimento de pelos radicais”.

E, no sentido trófico, a comunidade microbiana, em sua maioria, é composta por heterotróficos, ou seja, consumidores de alimentos e energia; portanto a dinâmica das interações microbianas na rizosfera depende em grande parte da capacidade competitiva dos microrganismos, pois a quantidade de carbono liberada pela planta na rizosfera é limitada. Os fungos micorrízicos têm pouca ou nenhuma capacidade saprofítica, por isso não competem diretamente com os outros microrganismos da rizosfera por nutrientes, nos primeiros estágios da colonização da raiz. No entanto, com a colonização da raiz estabelecida, pode ocorrer a imobilização de carboidratos pelo micélio interno, diminuindo assim sua disponibilidade na rizosfera. E, apesar de diverso e complexo, o resultado da maioria das interações na rizosfera, em muitos casos é benéfico para as plantas e microrganismos. Portanto, a compreensão dos mecanismos implicados poderia permitir um avanço nas práticas agrícolas menos consumidoras de fertilizantes e fitofármacos, como é o caso da agricultura sustentável (ANDRADE, 2004).

6.3.5 Fixação Biológica de Nitrogênio

Dentre as múltiplas relações “[...] A interação mais importante, em termos econômicos, é a que se refere a microrganismos fixadores de nitrogênio atmosférico” (ANDRADE, 1995); complementando, o autor comenta que o FMA requer importante quantidade de nitrogênio para seu metabolismo e processos biossintéticos. E que o aporte de nitrogênio mediante a atividade nitrogenasa de *Rhizobium*, pode ser crítico para que a planta mantenha seu equilíbrio fisiológico, que é importante na formação e efetividade das micorrizas.

Nesse sentido, Hungria e Araújo (1994, p. 44) relatam que:

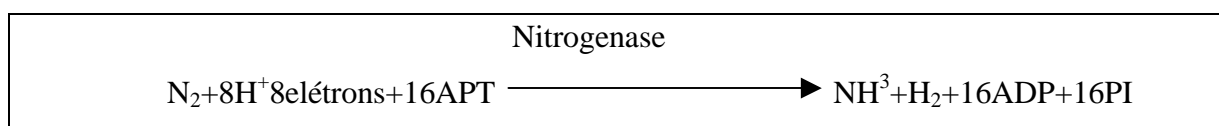
Somente algumas bactérias aeróbias, dos gêneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* e *Azorhizobium*, possuem um complexo enzimático denominado dinitrogenase, capaz de quebrar a tripla ligação entre os dois átomos de N_2 e transformá-lo em uma forma utilizável pelas plantas. Esse processo ocorre em estruturas típicas e altamente específicas, os nódulos, que são formados após o estabelecimento da simbiose entre o micro simbionte e a planta hospedeira e o processo é conhecido por fixação biológica do N_2 , onde as fontes fornecedoras desse N, são: 1 – nitrogênio do solo, proveniente principalmente da decomposição da matéria orgânica; 2 – nitrogênio fornecido por fertilizantes; e 3 – nitrogênio fornecido pelo processo da fixação biológica de nitrogênio atmosférico N_2 .

E, como produtos oriundos desses processos, os autores comentam que são produzidos nitrogenados sintetizados pelos nódulos, que são transportados para a parte aérea do hospedeiro, “[...] via xilema, pelo fluxo da transpiração, e que a análise destes compostos é importante em estudos fisiológicos, permitindo avaliar as variações metabólicas do micros simbiote e do hospedeiro, efeito de estresses ambientais, etc.” (HUNGRIA; ARAÚJO, 1994).

O complexo nitrogenase ou complexo enzimático nitrogenase referido no processo:

É formado por uma unidade proteica contendo átomos de ferro e outra menor com ferro e molibdênio. No processo a nitrogenase rompe a tripla ligação existente entre os dois átomos do nitrogênio atmosférico e o transforma na forma utilizável pela planta, NH^3 . A ação da nitrogenase é inibida na presença de O_2 , mas, os simbioses da família *Rhizobiaceae*, que se associam às leguminosas, e os simbioses do gênero *Frankia*, se localizam em hipertrofias especializadas denominadas nódulos, que abrigam as bactérias, modificadas em bacterióides, desenvolvem substâncias semelhantes à hemoglobina, leghemoglobina nas leguminosas, que regulam a quantidade de O_2 que chega até os bacterióides. (LOVATO, 2006, p. 17).

O processo da reação de fixação de nitrogênio atmosférico por compostos amoniacais catalisados pela enzima nitrogenase, pode ser observado a seguir:



Fonte: Fernandes Júnior e Reis (2008, p. 7).

Entretanto, a fixação de nitrogênio também pode ser promovida por microrganismos fixadores de nitrogênio de vida livre, como os do gênero *Azotobacter*, que incrementam a colonização do fungo e ajudam a estimular o crescimento da planta, quando se interrelacionam com ectomicorrizas. A causa desse sinergismo parece estar associada mais com a produção de fitohormônios do que com a fixação de nitrogênio por esses microrganismos.

Os microrganismos, em suas interações, também promovem associações mutualistas entre raízes e espécies de determinados fungos, produzindo as ectomicorrizas, ectendomicorrizas (micorrizas ericóides) e endomicorrizas.

E, segundo Colozzi-Filho e Balota (1994), “[...] as endomicorrizas podem ser de três tipos: orquidóides, ericóides e arbusculares”.

As ectomicorrizas são caracterizadas por desenvolverem “[...] curtos ramos de raízes que se bifurcam e crescem como estruturas coraliformes com muitas hifas intercelulares no córtex ligadas ao micélio externo, formando um manto na superfície externa da raiz curta, substituindo a camada pilífera com pelos radiculares”, (STEVENSON, 1974, p.121).

Reis et al. (2010), comentam, ainda, que as ectomicorrizas pertencem, principalmente, “[...] à classe dos Basidiomicetos e Ascomicetos e formam simbioses com espécies florestais comuns em ecossistemas boreais e temperados, sofrendo interações com a comunidade microbiana do solo, que modula a interação”.

As endomicorrizas arbusculares são formadas por fungos da ordem Glomales, classe Zigomicota, de ocorrência generalizada nas plantas vasculares e possuem funções essenciais no ecossistema, como na cooperação no estabelecimento de plantas, aumento da absorção de nutrientes, proteção contra estresses ambientais, melhoramento das propriedades físicas do solo, além de estarem envolvidas na conservação, armazenagem e ciclagem de nutrientes nos ecossistemas (LOVATO, 2006, p.13).

Sendo que, segundo Stevenson (1974, p.123), “[...] muitos membros dos Ericacea e famílias estreitamente relacionadas possuem micorrizas endotróficas; as hifas são bem desenvolvidas em uma região do córtex da raiz onde os pelotões são formados em muitas células”.

Outro grupo de importância nas interações com os FMA é encontrado nas bactérias denominadas Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR), caracterizadas como microrganismos colonizadores "agressivos" de raízes, sendo as bactérias do gênero *Pseudomonas* e *Glomus* sp as que interagem com as MA de maneira mais comum, segundo Andrade (1995).

Essas bactérias promovem o aumento do crescimento da planta, produzindo “[...] um incremento na colonização de ambos os microrganismos no sistema rizosférico e também um considerável aumento no desenvolvimento da

parte aérea.” (ANDRADE, 1995); entretanto, no processo de interação entre a PGPR e a MA é mais seletiva, pelo fato do efeito rizosférico proveniente desta relação ser dependente da cepa que esta inoculada, devido às diferentes quantidades de fitohormônios produzidos pelas cepas.

Outro benefício produzido pela PGPR se dá “[...] na produção de sideróforos, que são compostos extracelulares de baixo peso molecular e que estão relacionados com o incremento no crescimento da planta e com o controle biológico de enfermidades causadas por microrganismos. Os sideróforos são produzidos por muitos fungos e bactérias, incluindo os gêneros *Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Azotobacter* e também por algumas cepas de ectomicorriza” (ANDRADE, 1995).

Lovato (2006, p. 20), comentando essas interações, ratifica os benefícios que as PGPR propiciam à:

Nutrição, supressão de doenças, crescimento micelial, produção do ácido indol acético (AIA), solubilizando o fosfato, e a produção de sideróforos, propiciando maior disponibilidade de P e Fe, que acarreta no aumento da produção e do crescimento da planta pela associação com os FMA.

6.4 CONCLUSÕES

Os enunciados apresentados possibilitam concluir-se que os benefícios promovidos por microrganismos como fungos e bactérias, nas relações interativas de nutrição de plantas, propiciam novos caminhos de análise nas pesquisas biológicas e agrônômicas. Fica a expectativa de que, em um futuro próximo, as práticas agrícolas de uma maneira geral mas de forma especial na nutrição de plantas se referenciem mais por metodologias ecologicamente corretas, possibilitando garantir a produção de plantas e alimentos mais saudáveis a saúde humana e ao ambiente. E, que a intervenção antrópica no solo considere com maior foco o equilíbrio ecológico do ecossistema, inclusive, quando pesquisa formulações químicas ideal à produção agrícola, adequadas as plantas e aos microrganismos.

6.5 REFERÊNCIAS

ALTERTHUM, F. Classificação dos seres vivos. In: TRABULSI, L.R.; ALTERTHUM, F. (Ed.). **Microbiologia**. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2005.

AMARO, A.; GONÇALVES, C.; DUARTE, S.; COSTA, C. A.; ALBANO, S; SALVADO, E.; MEXIA, A. Tomate para indústria: Biodiversidade e infra-estruturas ecológicas. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.31, n.2, p.43-49, jul./dez., 2008.

ANDRADE, G. Role Functional Groups of Microorganisms on the Rhizosphere Microcosm Dynamics. In: VARMA, Ajit et al. (Org.). **Plant Surface Microbiology**. Berlim: Springer-Verlag, 2004. p. 51-69.

_____. **Interacción de rizobacterias fijadoras de N₂ no simbióticas con hongos micorrízicos em la rizosfera de plantas de maíz crecidas em minirrizotróon**. 1995. Tese (Doutorado em Microbiologia) - Universidad de Granada, Granada, Espanha, 1995.

BECKER, B.K. Amazônia: Construindo o Conceito e a Conservação da Biodiversidade Prática. In: GARAY, I.; DIAS, B.F.S. (Ed.). **Conservação da Biodiversidade em Ecosistema Tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento**. Petrópolis: Vozes, 2001. p. 92-101p.

CARNEIRO, C. E. A. **Manejo de solo fundamentado no equilíbrio químico**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

CARSON, R. **Primavera Silenciosa**. São Paulo. Tradução de Raúl de Polillo. São Paulo: Edições Melhoramentos, 1964.

COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E. L. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 1994.

COSTA, A.A.V.M.R. Agricultura Sustentável I: Conceitos. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.31, n.2, p. 61-73, jul./dez., 2008.

FERNANDES JÚNIOR, P. I.; REIS, V. M. **Algumas limitações a fixação biológica de nitrogênio em leguminosas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 252).

GARAY, I.; DIAS, B.; **Conservação da Biodiversidade em Ecosistema Tropicais – Avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento**. Petrópolis: Vozes, 2001.

HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 1994.

LOVATO, G. M. **Interações entre micorriza arbuscular e rizobactérias em leguminosas arbóreas destinadas a reflorestamento**. 2006. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação nutricional das plantas, princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989.

MOREIRA, M. S. M.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: Ed. UFLA, 2006.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. Tradução Pégasus Sistemas e Soluções. São Paulo: Thomson Learning, 2008.

RAYNAUT, C. Meio ambiente e desenvolvimento: construindo um novo campo do saber a partir da perspectiva interdisciplinar. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n.10. p. 21-32, jul./dez., 2004.

REIS, V. M.; ANDRADE, G.; FARIA, S.M.; SILVEIRA, A.P.D. Interações de fungos micorrízicos arbusculares com outros mecanismos do solo. In: SIQUEIRA, J. O.;

SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Org.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Ed. UFLA, 2010.

SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S.; SILVA, C.A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A O. (Ed.). **Fundamentos da matéria Orgânica do solo – Ecossistemas tropicais e Sub-tropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole Editora, 2008.

SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S.; SANTOS, J.G.D.; SCHNEIDER, J.; CARNEIRO, M.A.C. Micorrizas e a degradação do solo: caracterização dos efeitos e ação recuperadora. In: CERETTA, C. A; SILVA, L.S.; REICHERT, J. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. v.5, p. 219-306.

SOARES, C.R.F.S.; CARNEIRO, M.A.C. Micorrizas arbusculares na recuperação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Org.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Ed. UFLA, 2010.

STEVENSON, G. B. **Biologia dos fungos, bactérias e vírus**. São Paulo: Polígono, 1974.

STROHL, W. A.; HARRIET, R.; FISHER, B. D. **Microbiologia ilustrada**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TRABULSI, L, R; ALTERTHUM, F. **Microbiologia**. 4.ed. São Paulo: Atheneu, 2005.

VELOSO, C. A. C.; BORGES, A. L.; MUNIZ, A. S.; VEIGAS, I. A. de J. M. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.49, n.1, p.123-128, 1992.

YOUNÉS, T. Ciência da Biodiversidade: questões e desafios. In: GARAY, I.; DIAS, B.F.S. (Ed.). **Conservação da Biodiversidade em Ecossistema Tropicais - avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento**. Petrópolis: Vozes, 2001. p. 29-41.

ZANONI, M.; RAYNAUT, C.; LANA, P. C.; FLORIANI, D. A construção de um curso de pós-graduação interdisciplinar em meio ambiente e desenvolvimento: princípios teóricos e metodológicos, In: RAYNAUT, C. et al. (Org.). **Desenvolvimento e meio ambiente: em busca da interdisciplinaridade – pesquisas urbanas e rurais**. Curitiba: Editora UFPR, 2002. p. 9 -25.

7 ARTIGO B

RAÍZES E MICRORGANISMOS

Carlos Alberto Hirata, Cristiane de Conti Medina, Galdino Andrade.

RAÍZES E MICRORGANISMOS

Carlos Alberto Hirata¹, Cristiane de Conti Medina², Galdino Andrade³.

7.1 Resumo

O presente trabalho buscou construir uma discussão sobre as raízes, com foco na sua origem, morfologia e adaptação funcional, acompanhado da descrição de algumas interações com os microrganismos no solo rizosférico, sob condições ambientais adversas como escassez hídrica e compactação que interferem na condição nutricional da planta e no seu desenvolvimento.

Palavras-chave: Fungo. Bactéria. Microrganismos simbióticos. Nutrição de plantas. Rizosfera. Sistema radicular.

ROOTS AND MICRO-ORGANISMS

Abstract

This work discusses the symbiotic relationship of roots with micro-organisms such as fungi and bacteria, which characterizes the origin, morphology and functional adaptations of roots in the interactions that take place in the soil rizosferico. The objective of this study was to broaden the understanding of the relation of interactive roots with the microorganisms in the nutrition of the plant, for instance in the adverse environmental conditions, such water scarcity and the compaction interfere in their development.

Key – words: Fungi. Bateria. Symbiotic microorganisms. Nutrition of plants. Rhizosphere. Root System.

7.2 INTRODUÇÃO

Este trabalho discute a relação simbiótica entre raízes e os microrganismos como fungos e bactérias, com foco na nutrição das plantas.

¹ Departamento de Microbiologia, Laboratório de Ecologia Microbiana, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, CEP 86051-990, Brazil.

² Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, CEP 86051-990, Brasil.

³ Departamento de Microbiologia, Laboratório de Ecologia Microbiana, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, CEP 86051-990, Brazil.

Já os microrganismos como fungos e bactérias, são apontados como um dos recursos da biodiversidade naturalmente disponível, que devem ser potencializados para o uso agrícola em alternativas tecnológicas sustentáveis.

Parte da relação nutricional da planta ocorre em função das interações que raízes realizam com os microrganismos, resultado de inúmeros e complexos processos que ocorrem no solo rizosférico. Para maior conhecimento das ações que envolvem estes processos, é importante considerar as características da morfologia das raízes e suas adaptações funcionais, a fim de se obter maior compreensão de como interagem no solo rizosférico com os microrganismos.

Os microrganismos são apontados como um dos recursos da biodiversidade disponível na natureza, que devem ter seu uso potencializado na agricultura, como uma alternativa tecnológica sustentável.

Na intenção de valorizar esta relação simbiótica, este trabalho buscou construir uma discussão sobre as raízes, com foco na sua origem, morfologia e adaptação funcional, acompanhado da descrição de algumas interações com os microrganismos no solo rizosférico, sob condições ambientais adversas como a escassez hídrica e a compactação do solo entre outros, que interferem na condição nutricional da planta e no seu desenvolvimento.

7.3 ORIGEM E TIPOS DE RAÍZES

A origem da raiz ocorre no embrião da semente, na porção inferior, onde se encontra uma raiz embrionária denominada radícula. Após a germinação da semente, a radícula se desenvolve por alongação e divisão de suas células, resultando em quatro zonas consecutivas, a partir de sua extremidade livre: coifa, zona lisa ou de crescimento, zona pilífera e zona suberosa ou de ramificação, formando a raiz primária, podendo ser classificada segundo o ambiente em que se encontra. Podem ser aéreas ou subterrâneas, aquáticas ou terrestres; são caracterizadas como órgãos cilíndricos e aclorofilados, que apresentam geotropismo positivo e fototropismo negativo.

As raízes desempenham duas importantes funções: fixa a planta no substrato e suga a seiva bruta através dos pêlos absorventes. Suas ramificações originam-se internamente e estão distribuídas irregularmente em toda a sua extensão.

Na ponta, existe uma capa protetora denominada coifa. A coifa protege a raiz ao penetrar o solo. Ela se desgasta com isso e é reconstituída de dentro para fora. Esta é seguida por curta zona de alongação, a zona lisa. Segue-se a zona de absorção chamada zona pilífera, devido à presença de pelos absorventes. Da zona pilífera para o caule estende-se a zona cortical, que exerce a função de fixação e contém, no seu interior, os elementos de condução.

As raízes terrestres são caracterizadas por três tipos: axial, fasciculada e adventícia.

As raízes axiais são encontradas na maioria das dicotiledôneas e gimnospermas, sendo formadas por um eixo principal (axis), resultante do desenvolvimento da raiz primária do embrião e de suas ramificações eventuais.

As raízes fasciculadas, características da maioria das monocotiledôneas contém vários eixos simples ou ramificados.

Já as raízes adventícias são aquelas que, secundariamente, independentes da raiz primária do embrião, nascem nos caules ou nas folhas de qualquer vegetal.

Para completar sua gama de características, as plantas desenvolvem nas raízes adaptações funcionais em razão de condições ambientais; por exemplo, as escoras e as tabulares adaptadas às grandes plantas, expostas ao ar, servem para a sustentação. As respiratórias, através de pequenos furos pneumatódios realizam a aeração. As sugadoras se desenvolvem em plantas parasitas que vivem sobre outras como alguns cipós, sendo também chamadas de mata-paus ou estrangulantes. As que acumulam algum tipo de reserva de nutrientes são chamadas raízes tuberosas.

Apesar da aparente imobilidade, as raízes, por meio de sua estrutura e funcionalidade, interagem intensamente com os processos físicos, químicos e biológicos do ambiente. Desenvolvem-se, predominantemente, no interior do solo e da rocha, sob condições ambientais diferenciadas da parte aérea da planta.

Conforme observado por Faquin (2005):

As plantas de interesse agrícola, na sua maioria, apresentam-se divididas em três partes distintas, com adaptações específicas que permitem as suas funções características. As folhas, de aspecto laminar, têm por função as trocas gasosas e a recepção de luz solar para a fotossíntese e transpiração. O caule, de aspecto colunar e de resistência variável tem por função, na maioria das vezes, a sustentação da parte aérea, bem como ligação e transporte. As raízes, além de fixarem o vegetal ao substrato, têm como função básica a captação de água e dos nutrientes do solo. Esta divisão de funções entre as partes da planta deu-se com a sua adaptação ao habitat terrestre (FAQUIN, 2005, p. 49).

Diferente dos estudos das folhas e do caule que têm sua investigação visual mais acessível, os estudos do sistema radicular necessitam de maior esforço físico e cuidado técnico, devido a complexidade de suas interações e sua fragilidade em função do solo que fica agregado em suas ramificações. Este fato lhe confere uma enorme desvantagem investigativa, pois seu acompanhamento no subsolo exige sempre uma movimentação física de material, desconformando a estrutura do solo, agregada e adjacente às raízes.

Externamente, as raízes distinguem-se do caule por não apresentar nós e internós, nem gemas laterais ou folhas, salvo poucas exceções como em raízes gemíferas (raízes subterrâneas superficiais que apresentam gemas capazes de regenerar a parte aérea).

Embora se saiba da relevância das raízes para o processo produtivo, poucos são os estudos referentes ao sistema radicular se comparados aos da parte aérea das plantas. Este contexto pode ser explicado pela pouca difusão de metodologias e pelo grande trabalho dispendido na condução dos ensaios (NEVES; MEDINA; 1999). Assim, fica evidente a necessidade de avanços nos estudos que contemplem esse importante órgão vegetal. Melhores compreensão e caracterização dos sistemas radiculares favorecem o estabelecimento de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis (ZACCHEO, 2011, p.11).

Sua dinâmica de relações pode ser constatada quando se verifica que o sistema radicular percebe e integra todas as condições no espaço e no tempo, de modo semelhante à parte aérea das plantas, que está exposta a trocas constantes no ambiente, indicando claramente que estresses na parte aérea ou no sistema radicular são igualmente importantes (REICHERT et al. 2003).

A importância dos estudos dos sistemas radiculares das espécies vegetais utilizadas na agricultura, abordando sua distribuição, extensão e atividade,

é incontestável e fundamental para o entendimento científico da produção agrícola (ZACCHEO, 2011).

7.4 A RAIZ E A COMPACTAÇÃO DO SOLO

Tomando como exemplo os estudos das raízes sob condições de compactação do solo, provocada pela mobilização deste, percebe-se como é instigadora a capacidade das raízes de exploração do solo na busca de nutrientes e água para o seu desenvolvimento.

O elevado nível de mecanização na agricultura tem ocasionado a compactação no solo. Sabe-se que um solo pode ser quimicamente bom, mas, se a compactação ocorre, as plantas não se beneficiam adequadamente dos nutrientes, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes fica prejudicado, e é nela que ocorre a maior taxa de absorção. Além disso, com a compactação diminuem os espaços livres do solo, e conseqüentemente, a quantidade de oxigênio disponível na rizosfera podendo ser limitante para os processos metabólicos da planta (QUEIRÓZ-VOLTAN, et al. 2000, p. 929).

Conceitualmente, a compactação do solo é definida como adensamento pela aplicação de energia mecânica, tendo como consequência indesejável da mecanização a redução da atividade biológica do solo. Em casos extremos, este torna o solo inadequado ao crescimento das plantas.

O efeito da compactação, assim como da acidez do solo, deficiência nutricional, drenagem deficiente, danos causados por insetos, doenças, temperatura, entre outros fatores, restringem o crescimento radicular (REICHERT et al., 2007, p. 85). Conforme o autor: “[...] todas as culturas, anuais ou perenes, estão sujeitas a sofrer os impactos da compactação”. Estes impactos fazem com que as plantas criem mecanismos de defesa, expandindo as raízes laterais de diâmetro suficiente para penetrarem nos poros do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997), pois a compactação nem sempre é uniforme e apresenta diferentes níveis de resistência, permitindo que a raiz procure espaço para o seu desenvolvimento (SUZUKI, 2005). As raízes procuram espaços livres no solo para se desenvolverem (QUEIRÓZ-VOLTAN, et al. 2000).

Quando uma raiz encontra no solo um poro de diâmetro menor que o seu, ela se expandirá somente se for capaz de exercer pressão suficiente para dilatá-lo. Porém, como as raízes laterais respondem à compactação de forma semelhante à de raízes principais, quando há obstáculo ao crescimento todo o sistema radicular fica definhando e inteiramente coberto por pelos radiculares (REICHERT; 2007, p. 81).

7.5 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE EXPLORAÇÃO RADICULAR

Durante o desenvolvimento das plantas, a densidade e o comprimento das raízes aumentam até o início da floração, decrescendo posteriormente, com diminuição na eficiência de captação de água. (SANTOS; CARLESSO, 1998, p. 290).

O enraizamento das plantas varia com as espécies e os cultivares, a idade da planta, as características físicas e químicas do solo, os tratos culturais e as condições fitossanitárias. O conhecimento da quantidade, da qualidade e da distribuição das raízes é útil na produção agrícola para a tomada de decisão sobre a localização dos adubos, o espaçamento, as culturas intercalares, o manejo do solo e a irrigação, (ZACCHEO 2011). O autor ainda comenta que:

O desenvolvimento do sistema radicular tem influência direta sobre algumas características das plantas, tais como: resistência a seca, eficiência na absorção de nutrientes do solo; tolerância ao ataque de pragas; capacidade de germinação e/ou brotação, porte (ereto ou decumbente); e tolerância a movimentação de máquinas. Entretanto, não é a quantidade de raízes o fator determinante destas vantagens, mas a sua distribuição no perfil do solo ao longo das estações do ano. Uma quantidade muito grande de raízes nas camadas superficiais pode significar um gasto excessivo de metabólicos sintetizados na parte aérea e translocados para as raízes, além do risco do estresse hídrico em períodos de veranico em áreas não irrigadas (ZACCHEO, 2011, p. 19).

A capacidade que a raiz possui para absorver nutrientes tem limites e a área e a profundidade do solo ocupada pelo sistema radicular é fundamental para o sucesso do desenvolvimento da planta.

Oliveira e Oliveira (2010) comentam que St. John, em 1980, ao observar espécies vegetais nativas da floresta da Amazônia Central brasileira, constatou “[...] existência de uma relação significativa entre a profundidade das raízes (0-10, 10-30 e maior que 30 cm) e a condição micorrízica das plantas”, concluindo que as raízes superficiais são mais densamente colonizadas do que as

mais profundas do solo, sendo que as raízes abaixo de 30 cm de profundidade não eram colonizadas por fungos micorrízicos arbusculares-FMA. Essa ausência de colonização micorrízica seria uma estratégia ecológica das espécies, já que as raízes superficiais obteriam fósforo (P) mais eficientemente na camada mais fértil da serrapilheira, observando ainda que como na região pesquisada predominam o Latossolo-Amarelo distrófico de textura argilosa e Podzólico Vermelho-Amarelo (Argissolo), quimicamente ácidos e saturados por alumínio (Al^{3+}) e pobres na maioria dos nutrientes, suas condições nutricionais dependem muito das interações da planta e os organismos responsáveis por decomposição, mineralização, solubilização e absorção de minerais no solo.

Plantas com raízes finas, bem distribuídas, com maior proporção de pelos absorventes, possuem maior capacidade de absorção e desempenham melhor exploração do volume do solo. Especialmente de elementos cujo contato com a raiz se faz por difusão.

O volume do solo explorado e o contato íntimo entre a superfície das raízes e o solo são essenciais para a absorção de água. O contato é maximizado pela emissão de pelos radiculares, com conseqüente aumento da área superficial e da capacidade de absorção de água. Ainda assim, o déficit hídrico estimula a expansão do sistema radicular para zonas mais profundas e úmidas do perfil do solo... que permite explorar melhor a unidade e a fertilidade do solo (SANTOS; CARLESSO, 1998, p. 290).

Segundo Zangaro e Moreira (2010) “[...] A densidade das raízes finas é maior nas gramíneas do que nas plantas da floresta e o conteúdo de esporos de fungos pode ser maior nas gramíneas como resultado da maior disponibilidade e *turnover* das raízes”, Entretanto, os autores observam ainda que “[...] na floresta o denso emaranhado de raízes finas permite que o espalhamento da colonização de fungos ocorra de segmento de raiz para outro segmento”.

7.6 A RAIZ E O DÉFICIT HÍDRICO

O suprimento de água às plantas é determinado pela habilidade da cultura em utilizar a água armazenada no solo, enquanto a demanda da atmosfera, por outro lado, esta relacionada com os fatores meteorológicos interagindo com o dossel vegetativo da cultura (CARLESSO, 1995).

A capacidade de armazenamento de água disponível às plantas é determinada pela diferença de conteúdo volumétrico de água entre o limite superior e inferior de disponibilidade, considerando-se cada camada do perfil do solo explorado pelo sistema radicular das plantas... assim, se houver qualquer restrição física, química ou biológica, em alguma camada do perfil do solo, que altere o desenvolvimento radicular das plantas, a disponibilidade será afetada, porque essa água armazenada, não poderá ser extraída pela planta (SANTOS; CARLESSO, 1998, p. 289).

Os autores comentam ainda que o excesso de Al^{3+} na zona de raízes, frequentemente, impede seu desenvolvimento nas zonas mais profundas do solo, o que aumenta o efeito indireto do déficit hídrico, embora apresentando suficiente quantidade de água no solo para o pleno desenvolvimento das plantas.

Baylis (1975) propôs uma hipótese de que:

A dependência micorrízica das plantas em absorver nutrientes do solo estaria relacionada às características de suas raízes. Para o autor, plantas com raízes magnolioides (raízes grossas, fibrosas, sem ou com poucos pelos radiculares), teriam capacidade absorptiva largamente ampliada pela associação micorrízica. Essas características permitiriam, ainda, que elas respondessem positivamente à simbiose mesmo em solos relativamente férteis. Por outro lado, as dotadas de raízes graminoides (finas com uma densa cobertura de longos pelos radiculares) seriam menos ou não dependentes da simbiose para absorver minerais do solo; portanto menos micotróficas. (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2010, P. 260).

7.7 AS RAÍZES E OS MICRORGANISMOS

Os microrganismos são caracterizados por organismos unicelulares e procariontes (não possuem um núcleo organizado) compostos por bactérias e cianobactérias, fazendo parte do Reino Monera, e os organismos uni ou pluricelulares, denominados eucariontes (núcleo organizado e individualizado) compostos por fungos elementares e superiores, fazendo parte do Reino Fungi. Já as plantas pertencentes ao grupo dos Vegetais Superiores que juntos com os Vegetais Inferiores, composto por algas verdes, vermelhas ou marrons e Vegetais Intermediários (samambaia) formam o Reino Plantae na hierarquia dos seres vivos.

Os microrganismos podem afetar as raízes por distintos mecanismos. Conforme Rovira e Davey (1974), influenciam a rizogênese, a morfologia e a arquitetura das raízes, afetam a permeabilidade das membranas

celulares das células radicais e o metabolismo das raízes. Estimulam e/ou inibem a produção de determinados exudados e alteram a disponibilidade dos nutrientes às plantas e podem beneficiar a planta ainda por várias outras vias, incluindo a estimativa dos ciclos e solubilização de nutrientes minerais, sínteses de vitaminas e aminoácidos, que estimulam o crescimento da planta e a protege dos fitopatógenos por mecanismos de antagonismo, que podem estar baseados na produção de antibióticos, compostos fungicidas e/ou fungistáticos pela própria presença da microbiota normal, que impede o crescimento de patógenos por estarem mais adaptadas e serem mais competitivas; as raízes sofrem efeito direto da população microbiana que vive ao redor, tendo marcada influência no crescimento da planta.

Os microrganismos que vivem neste sistema, estimulados pela atividade das raízes, desempenham um papel muito importante em sistemas naturais e agrícolas, já que participam ativamente nos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes e nas transformações de matéria orgânica. Ademais, influenciam no enraizamento, produzem substâncias promotoras de crescimento, facilitam a absorção de nutrientes, protegem a planta frente às situações de estresse. A aceita-se que o crescimento e o desenvolvimento das plantas, tanto em ecossistemas naturais quanto em sistemas agrícolas extensivos ou intensivos, estão influenciados, em grande medida, por microrganismos da rizosfera (ANDRADE, 1995).

Entretanto, nem sempre a interação entre as raízes e os microrganismos ocorre de maneira simbiótica positiva. Reexaminando a hipótese de Baylis (1975) com árvores tropicais, St John (1980) sugeriu que em condições naturais de floresta de terra firme e dependendo da época do ano, essas plantas podem não se beneficiar da simbiose e dos pelos radiculares para absorção de nutrientes. Os autores, usando como exemplo um estudo realizado em plena floresta, observando raízes das plantas que se entrelaçam na camada superficial do solo (0-0,30 m), constataram a possibilidade de uma mesma hifa de fungo micorrízico ligar as raízes de várias espécies de plantas, compartilhando tanto a colonização quanto a troca de nutrientes entre as plantas hospedeiras. E no caso da ausência da simbiose efetiva com fungos micorrízicos, seria uma maneira da planta não perder nutrientes para outras plantas via micélio fúngico, das raízes superficiais densamente colonizadas pelos fungos micorrízicos, emitindo raízes mais profundas para absorverem os nutrientes lixiviados das camadas superiores.

Nesse sentido, Zangaro e Moreira (2010) comentam que:

Algumas características intrínsecas das espécies arbóreas da floresta madura podem ajudar a explicar a baixa colonização das raízes e esporulação: a) apresentam raízes e pelos absorventes com características morfológicas (pequeno comprimento total e específico, poucos e curtos pelos absorventes), que reduzem o espelhamento através do solo, diminuindo as chances de contato entre a superfície da raiz com as hifas dos fungos MA; b) a densidade do tecido da raiz é elevada, e as células do córtex podem apresentar paredes grossas, tornando mais resistentes à penetração das hifas; c) raízes finas com elevado diâmetro tendem a ser mais suberizadas e lignificadas, podendo representar um obstáculo para o movimento dos fotossintatos do floema para a superfície da raiz, tornando-se aspectos anatômicos importantes, que reduzem a exsudação da raiz e podem limitar a colonização pelos fungos; d) a baixa taxa metabólica, característica das espécies arbóreas da floresta primária, deve disponibilizar poucos fotossintatos para os fungos MA. Finalmente é possível que a maioria das espécies arbóreas que dominam as florestas apresentem certo grau de restrição aos fungos MA (Pouyú-Rojas et al, 2006), o que pode refletir na baixa taxa de colonização e esporulação (ZANGARO; MOREIRA, 2010, p. 296).

Levantamentos em diferentes ecossistemas brasileiros constataram que há associação entre FMA e raízes, estão presentes na maioria das plantas superiores.

Complementando, Andrade (1995) comenta que os fungos micorrizicos desenvolvem-se, de maneira, a adaptar-se as estruturas das raízes, podendo ser chamadas de ectotróficas, endotróficas e/ou ectomicorrizas ou endomicorrizas.

As micorrizas ectotróficas ou ectomicorrizas, compostas de hifas envolvem externamente a raiz, ficando apenas entre as células epidérmicas e corticais, sem penetrá-las.

As micorrizas endotróficas ou endomicorrizas são caracterizadas por hifas do fungo, que efetivamente penetram as células corticais da raiz, através de suas paredes.

As orquídeas e muitas espécies saprófitas apresentam micorrizas em suas raízes.

As raízes das plantas sofrem efeito direto da população microbiana que vive ao seu redor, e que exerce uma influência marcante no crescimento da planta. A população microbiana pode beneficiar a planta por uma grande variedade de vias, incluindo a estimativa dos ciclos e solubilização de nutrientes minerais, sínteses de vitaminas e aminoácidos, produção de fitihormonas que estimulam o crescimento da planta e a protege dos fitopatógenos por mecanismos de antagonismo que podem estar embasados na produção de antibióticos, compostos fungicidas e/ou fungistáticos ou pela própria presença da microbiota normal que impede o crescimento de patógenos por estarem mais adaptadas e serem mais competitivas, (ANDRADE, 1995, p.13).

7.8 A RAIZ E A RIZOSFERA

A rizosfera, é a área do solo influenciada pela presença de raízes, é um microcosmo onde ocorre uma multiplicidade de interações, que operam mediante mecanismos de diferentes níveis de complexidade, sendo definida, segundo Andrade (1995), como “[...] a região do solo que recebe a influência imediata das raízes, na qual ocorre a proliferação de microrganismos”.

O autor comenta, ainda, que a rizosfera é um sistema em equilíbrio, onde cada microrganismo tem sua função e forma de viver, e que cada grupo de microrganismos depende uns dos outros. As interações microrganismo-microrganismo são evidentes, e podem ser positivas ou negativas, dependendo das substâncias excretadas por estes seres microscópicos, já que parte das necessidades nutricionais do sistema e dos metabolismos secundários, tanto benéficos quanto antagônicos intra e interespecíficos, provêm da síntese da transformação das substâncias produzidas pela microbiota ou pelas raízes.

A rizosfera se desenvolve por ação de fenômenos biológicos e físico-químicos complexos, a soma dos quais tem um grande impacto tanto na vida da planta como na micro biota do solo. A infase solo-planta é influenciada constantemente pelo desenvolvimento da própria planta, já que alguns fatores tais como a capacidade fotossintética da parte aérea, os conteúdos em hidratos de carbono das raízes e o intercâmbio constante entre as partes autotrófica (fotossintética) e heterotrófica (consumidora) do sistema (ANDRADE, 1995).

Entretanto, a compreensão dos fenômenos implicados é bastante incompleta. Particularmente, em termos da agricultura sustentável, o grande

caminho é conseguir que estas interações sejam cada vez melhor compreendidas para se poder obter o máximo benefício delas.

A rizosfera pode ser dividida em: “[...] (1) "rizoplano", que inclui o mucigel e a epiderme; (2) "endorizosfera", formada por tecidos da raiz, que podem estar colonizados por microrganismos simbióticos ou patógenos, e (3) "solo rizosférico", na realidade uma interface solo-raiz”, segundo Andrade (1995, p.3). O autor observa, ainda, que:

As raízes também liberam no solo uma gama de compostos insolúveis, tais como lignina, celulose, hemicelulose e, ocasionalmente, compostos aromáticos. Estes polímeros podem ser liberados a partir dos lisados de células maduras ou por ruptura de tecidos das raízes o qual afeta tanto a planta quanto a micro biota, assim como as condições físico-químicas do solo. (ANDRADE, 1995)

Estes compostos são denominados de exsudatos radicais, contendo açúcar, aminoácidos, hidratos de carbono, ácidos orgânicos, vitaminas, enzimas, etc. Assim como uma grande variedade de outros compostos orgânicos voláteis de pequeno peso molecular, tais como álcool, ácidos graxos e compostos acurados. A composição dos exsudados varia com a espécie da planta e com seu estágio de crescimento, o qual se altera nas distintas fases do desenvolvimento das populações microbianas tanto quantitativa quanto qualitativamente. A exsudação pode também ser afetada pela atividade microbiana, que utilizando os exsudados como fonte de nutrientes produzem muitos compostos que modificam a composição química da rizosfera.

Os exsudados também exercem ações quimiotáxicas para determinados grupos de microrganismos, assim como podem atuar como repelentes para outros.

Ainda, reconhecendo a importância funcional dos exsudados, convém apontar que existem outros processos que também incidem no desenvolvimento da rizosfera. Observando estas relações de uma maneira mais detalhada, Hale et al. (1981), classificaram outros processos e tipos de materiais liberados pelas raízes da seguinte forma:

a) exsudatos radicais

É o resultado da liberação na rizosfera, por mecanismos passivos, de metabólicos elaborados pela raiz, mediante processos bioquímicos mais ou menos complexos.

b) secreções

É o produto da liberação de compostos que atravessam a membrana citoplasmática mediante transporte ativo.

c) mucílagos

São compostos orgânicos excretados tanto pelas células da coifa quanto pelas células mais externas da epiderme, incluindo as dos pelos radicais. Em sua formação também intervém na atividade microbiana através da degradação de células vivas e mortas.

d) mucigel

Material gelatinoso da superfície radical, formado por produtos metabólicos, células microbianas, colóides minerais e matéria orgânica.

e) lisados

Materiais que são provenientes da autólises das células corticais.

Os exsudatos são muito importantes no desenvolvimento da atividade microbiana rizosférica, sendo difícil diferenciá-los dos lisados, com os quais se confundem muitas vezes. Os lisados diferem dos exsudatos quanto a sua origem e composição, (ANDRADE, 1995, 5).

Os microrganismos simbióticos, como *Rhizobium* e fungos micorrízicos aumentam tanto qualitativa quanto quantitativamente a exsudação afetando o crescimento da planta. A exsudação parece estar relacionada com os grupos de bactérias que se estabelecem em populações consideráveis na rizosfera, tais como solubilizadores de fosfato, fixadoras de nitrogênio de vida livre e simbiótico, sendo de grande interesse a relação entre estes grupos de bactérias e os fungos micorrízicos.

Os microrganismos fitopatógenos também alteram a exsudação. Este fato é atribuído aos efeitos diretos que provocam na lise e na permeabilidade da membrana celular. Nestes dois processos, as células radicais liberam seus conteúdos na rizosfera.

Os microrganismos saprófitos parecem não ter uma ação direta na exsudação. Entretanto, realizam importantes funções na decomposição da matéria orgânica, liberando nutrientes que são utilizados por todos os demais grupos

microbianos relacionados com a nutrição da planta, como por exemplo, os simbiontes (SWIFT *et al.*, 1979).

7.9 ASSOCIAÇÕES DE RAÍZES – MICORRIZAS

O termo micorriza (do grego “mikos, e “rhiza”, raiz) foi utilizado por Frank (1885), fazendo referência a determinadas associações de certos fungos com as raízes das plantas. Estas associações foram observadas no final do século retrasado (BONFANTE-FASOLO, 1984) e somente na década de 50 começaram as afirmações da importância dos fungos no desenvolvimento e nutrição da planta (ANDRADE, 1995).

As micorrizas, na maioria dos casos, participam ativamente da captação de nutrientes para planta, atuando como um complemento do sistema radical. Nesta associação, o fungo coloniza parte do córtex da raiz, a partir da qual desenvolve um micélio externo altamente efetivo na captação de nutrientes. Entretanto, a dependência do fungo nesta associação é maior, pois, até o momento não se conseguiu cultivá-los sem a presença das plantas.

Estudos paleobotânicos demonstram que as micorrizas estão intimamente ligadas ao processo evolutivo das plantas. Foram observadas em fósseis vegetais estruturas fúngicas similares às micorrizas atuais, sendo esta hipótese confirmada por estudos filogenéticos, realizados sobre ADN ribossômico, procedente de fungos formadores de micorrizas; também, a colonização dos habitat terrestres pelas plantas ocorreu mediante a associação de uma alga e um fungo, que teria função de captação de água e nutrientes minerais para o metabolismo autótrofo. A partir desta primitiva associação, os vegetais terrestres estão evoluindo conjuntamente com os fungos micorrízicos, aprimorando seus mecanismos de captação de nutrientes. Possivelmente, por esta co-evolução, determinados grupos de vegetais dependem para seu desenvolvimento ou, em casos extremos, para sua sobrevivência, da formação das micorrizas (BAREA *et al.*, 1984).

7.10 TIPOS DE MICORRIZAS

Os fungos micorrízicos são classificados de acordo com as características morfológicas dos esporos e divididos em sete grupos distintos, segundo Harley e Smith (1983), sendo os mais representativos os das ectomicorrizas e das micorrizas arbusculares.

Nas ectomicorrizas, a colonização intrarradical é exclusivamente intracelular, formando uma rede de hifas no córtex da raiz denominada de “red de Hartig” (HARLEY; SMITH, 1983). Na superfície das raízes se forma um “red” muito denso de hifas denominadas de manto. Este manto pode estar relacionado na proteção contra ataque de patógenos (MARX, 1973). A maioria das ectomicorrizas pertence aos grupos dos Ascos e Basidiomicetos e poucas aos Zigomicetos (BAREA, 1990), sendo as Angiospermas e Gimnospermas as principais hospedeiras desta associação (MARX; SHAFER, 1989).

As micorrizas endotróficas ou endomicorrizas estão caracterizadas por colonizar inter e intracelularmente as raízes da maioria das plantas existentes, sobretudo nas Angiospermas (KENDRICK; BERCH, 1985; TRAPPE, 1986), formando estruturas intracelulares nas células mais internas do córtex, que são denominados de arbúsculos. Estes se formam de hifas que, ao colonizar as células, sofrem sucessivas divisões dicotômicas, sendo as responsáveis pelo intercâmbio de nutrientes entre a planta e o fungo. No solo, o fungo desenvolve o micélio externo, que é o responsável pela captação de nutrientes do solo. Dentro deste grupo as micorrizas arbusculares (MA) são as mais representativas e estão formadas por fungos do grupo dos zigomicetos.

A maioria das plantas que formam MA é de alto interesse econômico e, de certa forma, são dependentes desta associação. Alguns autores também descrevem a presença destes fungos MA em algumas Gimnospermas, Pteridófitas e Briófitas (BAREA et al., 1991; WALKER, 1992).

As micorrizas arbusculares colonizam entre 80 a 90% das espécies vegetais e as ectomicorrizas de 3 a 5 %. Os fungos MA são representados por somente 150 espécies, em contraste com as ectomicorrizas, que tem um número estimado de 5000 espécies capazes de desenvolver esta simbiose (MEYER, 1973; MORTON, 1988).

Durante a formação da MA, ocorre um intercâmbio de sinais que é regulado pelo genoma de ambos os organismos. A integração dos simbiontes se produz no nível estrutural e fundamentalmente, nos níveis fisiológicos e bioquímicos. O fungo ao colonizar a raiz, transfere as células nutrientes provenientes do solo e gera intercâmbios nos níveis metabólicos e enzimáticos da planta.

As ectoendomicorrizas parecem reunir características das ecto e endomicorrizas. Pouco se sabe sobre elas e parece ser que os fungos formadores são do grupo Discomicetos. Os hospedeiros são plantas jovens de Angiospermas e Gimnospermas. As micorrizas arbustoides possuem as mesmas características que as ectoendomicorrizas, porém, ocorrem somente em plantas adultas da família das Monotropaceae e, nos gêneros *Arbustus* e *Arctostaphylos*; os fungos são pertencentes ao grupo dos Basidiomicetos. Já as micorrizas Eticóides e Orquidóides pertencentes ao grupo das endomicorrizas, são formadas unicamente por plantas pertencentes as famílias Ericaceae e Orchidiaceae, respectivamente. Os fungos que as formam são dos grupos Asco e Basidiomicetos.

Todos os tipos de associações micorrízicas descritos anteriormente colonizam o córtex de raízes não suberizadas da planta hospedeiras (CALVET, 1990), nunca infectam o cilindro vascular, o que indica o elevado controle desta associação (BAREA et al., 1991).

7.11 INTERAÇÕES SIMBIÔNTICAS DAS RAÍZES E MICRORGANISMOS

As interações simbiônticas estão presentes em quase a totalidade das plantas nos mais diferentes ecossistemas. Aproximadamente, 97% das plantas superiores estão micorrizadas, ou seja, suas raízes encontram-se modificadas morfológica e fisiologicamente por fungos do solo com os quais estabelecem associações simbióticas mutualística (ANDRADE, 1995, p. 19).

Hoje em dia se conhecem muitos aspectos das interações simbiônticas e semi-simbiônticas entre plantas e microrganismos. Entretanto, se conhece pouco dos aspectos básicos das interações planta-microrganismo de vida livre e, ainda menos das interações microrganismo-microrganismo, sejam ou não simbiontes. Isto se deve em grande parte à dificuldade que apresentam os sistemas experimentais tradicionais em estufas ou em solução hidropônica. Há necessidade de novos modelos experimentais controlados mais finos, e que permitam visualizar e

compreender interações do tipo axênico, monoxênico e o dixênico, é óbvio, devido à precariedade no conhecimento que se tem no momento nesta temática de investigação.

Como resultado desse olhar mais apurado experimentalmente, percebeu-se que a concentração de hidratos de carbono, vitaminas e outras substâncias promotoras do crescimento na rizosfera promovem uma intensa atividade microbiana, onde a interação metabólica entre a microbiota e as raízes é extremamente complexa (NICHOLAS, 1965). A baixa disponibilidade de nutrientes no solo origina um déficit nutricional ocasionado pela competição entre as raízes da planta e a microbiota. Por outro lado, as plantas se beneficiam da ação dos microrganismos que liberam nutrientes - tal como fosfato, e micronutrientes a partir de fontes insolúveis, que, em ambos os casos, afetam a produção e a liberação de exsudados.

7.12 DINÂMICA DA COLONIZAÇÃO DO SISTEMA RIZOSFÉRICO

Algumas cepas possuem quimiotaxia positiva para determinados constituintes dos exsudados. A liberação de nutrientes pelas raízes atrai e favorece o desenvolvimento de distintas comunidades microbianas que em função do tempo fazem trocas simbióticas baseadas no contínuo enriquecimento produzidos pelos exsudados e por compostos elaborados pela microbiota.

A comunidade microbiana sofre trocas qualitativas e quantitativas sucessivas com o crescimento da planta. Isto é determinado pelas distintas características dos grupos de microrganismos, tais como o ritmo do crescimento e a capacidade de utilizar os exsudados liberados no momento como fatores nutricionais. A velocidade da sucessão troca com os materiais constituintes dos exsudados liberados. Durante a germinação e maturação da planta, os exsudados estão compostos fundamentalmente por hidratos de carbono e material mucilaginoso. Estes compostos estimulam o crescimento dos microrganismos na superfície das raízes e dentro do mucigel, como na planta adulta, e estão constituídos majoritariamente por açúcares simples e aminoácidos provenientes da lise celular. Quando estes compostos são liberados no solo, estimulam o desenvolvimento de grupos de microrganismos que possuem alta capacidade de crescimento; este processo acontece até que a planta entre em senescência e a

atividade fisiológica diminui, baixando a síntese e liberação de exsudados. Conseqüentemente a atividade microbiana e o nível da população decrescem (ATLAS; BARTHA, 1987).

Os microrganismos da rizosfera produzem compostos orgânicos que afetam o crescimento do sistema radicular (LYNCH, 1976; 1986). Assim se sabe que podem sintetizar auxinas e giberelinas, que aumentam a porcentagem de germinação de sementes e o desenvolvimento de pelos radiculares, favorecendo o crescimento da planta (BROWN, 1974).

Pode-se dizer que as interações entre plantas e microrganismos são reguladas por mecanismos de "feed back" positivos e negativos, de acordo com a necessidade dos mesmos. Os microrganismos no solo produzem substâncias que estimulam o desenvolvimento da planta hospedeira, também podem produzir substâncias alelopáticas que inibem o desenvolvimento de outras plantas (ATLAS; BARTHA, 1987), e influenciam a disponibilidade de nutrientes minerais das plantas, já que são capazes de captar nutrientes em sítios na forma moleculares que as raízes não podem obter (NICHOLAS, 1965; BARBER, 1978). Alguns grupos de microrganismos aumentam a disponibilidade de fosfato através da solubilização de compostos que as plantas não são capazes de transformar. O principal mecanismo da solubilização de fosfato é a produção de ácidos orgânicos, que dissolvem os fosfatos da rocha, liberando formas solúveis de fósforo.

Em condições de solo estéril, as plantas inoculadas com microrganismos solubilizadores de fosfato apresentam níveis maiores de fósforo em seus tecidos que nas plantas controles (CAMPBELL, 1985). Ferro e manganês também são mais disponíveis por ação dos microrganismos. A produção de agentes orgânicos quelantes aumenta a solubilidade destes nutrientes. Também se tem demonstrado que os microrganismos da rizosfera aumentam significativamente os níveis de cálcio nas raízes.

Entretanto, as populações de microrganismos na rizosfera também podem criar deficiência nas plantas por processos de imobilização, quando determinados nutrientes não estão em concentrações adequadas (AGRIOS, 1978).

A maioria das interações na rizosfera resulta, em muitos casos, em interações mutuamente benéficas para as plantas e os microrganismos. A compreensão destes mecanismos interativos permite um avanço em práticas

agrícolas menos consumidoras de fertilizantes e fitofármacos como desejados na agricultura sustentável.

7.13 CONCLUSÕES

Como pode ser observado o conhecimento das estruturas funcionais das raízes e os complexos processos em que se envolvem com os microrganismos no solo rizosférico, contribui de maneira significativa para a compreensão da importância do papel que a raiz desenvolve para a sobrevivência da planta e das suas interações sob as condições ambientais e simbióticas que desenvolve, principalmente no tocante a captação de nutrientes, desde a germinação até a fase da senescência da planta.

7 14 REFERÊNCIAS

AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. New York: Academic Press, 1978.

ANDRADE, G. **Interacción de rizobacterias fijadoras de N₂ no simbióticas con hongos micorrízicos em la rizosfera de plantas de maíz crecidas em minirrizotróf. 1995**. Tese (Doutorado em Microbiologia) - Universidad de Granada, Granada, 1995.

ATLAS, R. M.; BARTHA, R. (Ed.). **Microbial ecology: fundamentals and applications**. 2nd ed. California: The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1987.

BARBER, D. A. Nutrient uptake. In: DOMMARGUES, Y.R.; KRUPA, S.V. (Ed.). **Interactions between non-pathogenic soil microorganisms and plants**. Amsterdam: Elsevier Publishing Co., 1978. p. 243-268.

BAREA, J. M.; AZCÓN-AGUILAR, C.; ROLDÁN-FAJARDO, B. Avances recientes en el estudio de las micorrizas VA. I. Formación, funcionamiento y efectos en nutrición vegetal. **Anales de Edafología y Agrobiología**., Madrid, v.43, p. 659-677, 1984.

BAREA, J. M. Micorrizas vesículo-arbusculares. In: CASADESUS, J.; RUIZ-BERRAQUERO, F. (Ed.). **Microbiología**. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1990.

BAREA, J.M.; AZCÓN-AGUILAR, C.; OCAMPO, J.A.; AZCÓN, R. Morfología, anatomía y citología de las micorrizas vesículo-arbusculares. In: OLIVARES, J.; BAREA, J.M. (Ed.). **Fijación y movilización biológica de nutrientes**. Madrid: CSIC, 1991. v.2, p. 149-173.

- BAYLIS, G.T.S. The magnolioid mycorrhiza and micotrophy in root systems derived from it. In: SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P. B. eds. **Endomycorrhizas**, London, London, 1975. p. 373-389.
- BONFANTE-FASOLO, P.; Anatomy and morphology of VA mycorrhizae. In: POWELL, C.L.; BAGYARAJ, D. J. (Ed.). **VA mycorrhiza**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1984. p. 35-46.
- BROWN, M. E. Seed and root bacterization. **Annual review of phytopathology**, Palo Alto, v.12, p. 181-197, 1974.
- CALVET, C. **Micorrizas vesículo-arbusculares en cultivos intensivos sobre sustratos orgánicos**: interacciones con hongos saprofitos y patógenos de la rizosfera. 1990. Tesis (Doctoral) - Universidad de Granada, España. 1990.
- CAMPBELL, R. **Plant microbiology**. London: Edward Arnold Publishers, 1985.
- CARLESSO, R. Absorção de água pelas planta: água disponível versus extraível e a produtividade da cultura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.1, p. 183-188, 1995.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: Degaspari, 1997.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005.
- HALE, M.G.; MOORE, L.D.; GRIFFIN, G.J. Factors affecting root exudation and significance for the rhizosphere ecosystems. In: BRINCK P (Ed.). **Biological and chemical interactions in the rhizosphere**. Stockholm: Swedish Nature Science Research Council, 1981.
- HARLEY, J.L.; SMITH, S.E. **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic Press, 1983.
- KENDRICK, B.; BERCH, S. Mycorrhizae: applications in agriculture and forestry. In: ROBINSON, W. (Ed.). **Comprehensive biotechnology**. Oxford: Pergamon Press, 1985. v.4, p. 109-152.
- LYNCH, J.M. Products of soil microorganisms in relation to plant growth. **CRC critical reviews in microbiology**, Cleveland, v.5, p. 67-107, 1976.
- LYNCH, J. M. **Biotecnologia do solo**: fatores microbiológicos na produtividade agrícola. São Paulo: Manole, Brasil, 1986.
- MARX, D.H. Mycorrhizae and feeder root diseases. In: MARKS, G.C.; KOZLOWSKY, D. (Ed.). **Ectomycorrhizae: their ecology and physiology**. New York: Academic Press, 1973. p. 351-382.
- MARX, D.H.; SHAFER, S.R. Fungal and bacterial symbiosis as potential biological markers of effect of atmospheric deposition on forest health. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL WORKSHOP ON MARKERS OF AIR POLLUTION EFFECTS IN FORESTS. Wilacres Retreat, N. C., April 25-27, 1988. **Proceedings...**Washington D.C.: NCR, 1989. p. 217-232.

MEYER, F.H. Distribution of ectomycorrhizae in native and man-made forest. In: MARKS, G.C.; KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). **Ectomycorrhizae: their ecology and physiology**. New York: Academic Press, 1973. p. 79-105.

MORTON, J.B. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi: Classification nomenclature and identification. **Mycotaxon**, Ithaca, v.32, p. 267-324, 1988.

NICHOLAS, D. J. D. Influence of the rhizosphere on the mineral nutrition of the plant. In: BAKER, K. F.; SNYDER, W.C. (Ed.). **Ecology of soil-borne plant pathogens**. Berkeley Univ. California Press, 1965. p. 210-217.

OLIVEIRA, A. N.; OLIVEIRA, L. A. Micorrizas arbusculares no bioma amazônia. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (Org.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Ed. UFLA, 2010.

QUEIRÓZ-VOLTAN, R. B. Q. Aspectos da estrutura de raiz e o desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.5, p. 929-938, maio, 2000.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. A qualidade dos solos e sustentabilidade nos sistemas agrícolas. **Revista de Ciência Ambiental**, Santa Maria, n.27, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação de solos em sistema agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. v.5, p. 49-134.

ROVIRA, A. D.; DAVEY, C. B. Biology of the rhizosphere. In: CARSON, E.W. (Ed.). **The plant root and its environment**. Charlottesville: Univ. Virginia Press, 1974. p. 153-204.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p. 287-294, 1998.

ST., JOHN. T.V. A survey of micorrhizal infection in an Amazonian rain forest. **Acta Amazonica**, v.10, p. 527-533, 1980.

SUZUKI, L. E. A. S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; SANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1979.

TRAPPE, J.M. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in angiosperms from an evolutionary standpoint. In: RUHLAND, W. (Ed.). **Ecophysiology of VA mycorrhizal plants**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1986. p. 5-25.

WALKER, C. Systematics and taxonomy of the arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales): a possible way forward. **Agronomie**, Paris, v.12, p. 887-897, 1992.

ZACCHEO, P. V .C. **Sistema radicular de adubos verdes em pomar cítrico**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

ZANGARO, W.; MOREIRA, M. Micorrizas arbusculares nos biomas floresta Atlântica e floresta de Araucária. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (Org.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Ed. UFLA, 2010.

8 ARTIGO C

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO EM CAMPO DE MUDAS DE
Schizolobium parahyba (GUAPURUVU) INOCULADAS COM
MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO**

Carina Santos Bomediano Nogueira; Carlos Alberto Hirata; Martha Viviana Torres
Cely, Galdino Andrade.

AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO EM CAMPO DE MUDAS DE *Schizolobium parahyba* (GUAPURUVU) INOCULADAS COM MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO

Carina Santos Bomediano Nogueira¹; Carlos Alberto Hirata; Martha Viviana Torres
Cely, Galdino Andrade.

8.1. Resumo

A fase de produção de mudas e seu estabelecimento em campo são desafios dos programas de reflorestamento com espécies nativas. O uso de microrganismos simbiotes pode auxiliar no desenvolvimento das plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento da espécie nativa *Schizolobium parahyba*, inoculada com diferentes fungos micorrízicos arbusculares e bactérias fixadoras de nitrogênio. O experimento foi instalado no município de Londrina (PR), com delineamento experimental inteiramente ao acaso. Os tratamentos foram desenhados com combinações de duas espécies de fungos MA (*G. clarum*, *G. intrarradices*), duas cepas de bactérias fixadoras de N (*Rhizobium sp*, *Burkholderia sp*) e uma dose de adubo químico. As avaliações foram feitas em dois tempos de amostragem (60 e 120 dias), com medidas de altura total e diâmetro das mudas. Ao final do experimento, foi calculado o incremento em centímetros de cada tratamento obtido entre 60 e 120 dias. A análise estatística foi feita mediante análise de variância e teste de Tukey (0,05). Aos 60 dias, os tratamentos com adubo apresentaram maior crescimento. Aos 120 dias, os tratamentos *G. clarum* + *Rhizobium sp.* e *G. intrarradices* + *Rhizobium sp.* apresentaram as maiores médias para altura e diâmetro, respectivamente. A maior taxa de crescimento de altura observada foi a do tratamento com *G. clarum* + *Rhizobium sp.*; para o diâmetro, a combinação fungo + bactéria + adubo apresentou maior taxa de crescimento; porém sem diferença significativa entre os tratamentos.

Palavras – chave: Bactérias fixadoras de nitrogênio. Guapuruvu. Microrganismos simbiotes. Micorriza. Viveiro de mudas.

Abstract

The production phase of seedlings and its establishment in the field are challenges of the programs of reforestation with native species. The use of micro-organisms symbionts can assist in the development of the plants. The objective of this study was to evaluate the growth of native species *Schizolobium parahyba* when inoculated with different mycorrhizal fungi and nitrogen fixing bacteria. The experiment was carried out in the town of Londrina (PR), with a completely randomized design. The treatments were designed with combinations of two species of fungi (*G. clarum*, *G. intrarradices*), two of nitrogen-fixing bacteria (*Rhizobium sp*, *Burkholderia sp*) and a dose of fertilizer chemical. Assessments were made at two sampling times (60 and 120 days), with measurements of total height and diameter of

¹ Departamento de Microbiologia, Laboratório de Ecologia Microbiana, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, CEP 86051-990, Brazil.

the seedlings. At the end of the experiment, it was calculated the increase in centimeters of each treatment obtained between 60 and 120 days. The statistical analysis was performed using analysis of variance and Tukey's test (0.05 %). After 60 days, the treatments with fertilizer showed greater growth. Already at 120, the treatments *G.clarum* + *Rhizobium sp.* and *G.intrarradices* + *Rhizobium sp.*, showed the highest averages for height and diameter, respectively. The highest rate of growth in height was observed in the treatment with *G. clarum* + *Rhizobium sp.*, already for the diameter the combination fungus + bacterium + fertilizer presented a higher rate of growth, however without significant difference between the treatments.

Key – words: Nitrogen fixing bactérias. Guapuruvu. Microorganisms symbionts. Mycorrhiza. Seedings nursery.

8.2 INTRODUÇÃO

A degradação de matas nativas é uma realidade que assola o Brasil em toda sua extensão, afetando todos os seus biomas e, conseqüentemente, a biodiversidade. A Mata Atlântica é considerada um dos mais importantes repositórios de biodiversidade do planeta e um dos biomas mais ameaçados do mundo (TABARELLI *et al.*, 2005), que, atualmente, encontra-se reduzido a fragmentos florestais isolados, com 7,3% da sua área original (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2011). Os motivos que levaram ao desmatamento extensivo foram a procura por madeira de qualidade para as indústrias e a liberação de terra para fins agropecuários. Hoje, a produção madeireira está cada vez menos dependente da exploração direta e sim da madeira gerada por reflorestamento. As espécies mais utilizadas para este fim são as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (IEDE *et al.*, 2003).

O Estado do Paraná teve sua vegetação nativa devastada para os mesmos fins observados em todo o país e o que se vê agora é um aumento no número de áreas reflorestadas destinadas à produção de madeira certificada. Muitas dessas áreas que no passado eram dominadas pela exuberante Mata Atlântica, hoje estão tomadas por espécies exóticas.

A busca por alternativas que permitam diminuir o cenário de desequilíbrio ambiental é de suma importância. O estudo do desenvolvimento de espécies florestais do bioma da mata atlântica, para uso em cultivos de áreas impactadas pela ação antrópica na região, é de especial relevância para a restauração deste bioma tão degradado.

A fase de produção de mudas e seu estabelecimento a campo são uns dos desafios dos programas de reflorestamento com espécies arbóreas nativas. O uso de fungos simbiotes pode auxiliar no desenvolvimento inicial das mudas na fase de viveiro, bem como diminuir o estresse de transplante e aumentar o vigor inicial das mudas em campo, por efeitos nutricionais e hormonais, dentre outros, o que aumenta as chances de sucesso dos programas de revegetação (SIQUEIRA; SAGGIN-JUNIOR, 1995; MILLER; KLING, 2000).

O objetivo deste trabalho é avaliar o desenvolvimento das mudas submetidas à associação com diferentes fungos micorrízicos arbusculares e com bactérias fixadoras de nitrogênio e, também, quais são as espécies destes microrganismos que proporcionaram maior crescimento das árvores.

8.3 MATERIAL E MÉTODOS

8.3.1 Área de Estudo

A área de estudo está localizada na bacia hidrográfica do rio Tibagi, entre as coordenadas geográficas dos paralelos 47° 50' 10"L e 74° 04' 55"S, 47° 49' 51"L e 74° 04' 46"S, 47° 51' 50"L e 74° 04' 35"S e 47° 51' 51"L e 74° 04' 48"S, na fazenda Santa Helena, no Distrito administrativo de São Luis, município de Londrina, Estado do Paraná.

O campo experimental foi instalado sobre um campo de futebol abandonado, coberto com gramíneas do tipo "mato grosso" há dez metros de distância da área de preservação permanente do córrego do tigre.

8.3.2 Tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com fatorial 3x3x2, composto por Fungos-MA x Bactérias fixadoras de Nitrogênio x Adubo químico. Os tratamentos foram dispostos em blocos com três repetições, cada tratamento representado em cada bloco com parcelas contendo dez plantas.

Os tratamentos consistiram de diferentes combinações entre os microrganismos a serem inoculados, sendo os fungos MA *G. intraradices* e *G. clarum*, as bactérias dos gêneros *Burkholderia sp* e *Rhizobium sp* e adubo químico

formulado NPK 10-10-10, incorporado ao solo, no berço do plantio em covas de 30 cm de profundidade. A cepa bacteriana de *Rhizobium sp.* foi cedida pela Dra. Diva de Souza Andrade, do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). A cepa de *Burkholderia sp.* utilizada foi isolada da planta carnívora *Drosera villosa* (ALBINO *et al.*, 2006) e pertence ao estoque do Laboratório de Ecologia Microbiana da Universidade Estadual de Londrina.

8.3.3 Cultivo dos Microrganismos

As bactérias fixadoras de nitrogênio *Rhizobium sp.* e *Burkholderia sp.* foram cultivadas em meios TY (STANGHELLINI *et al.*, 1977) e NFB (DÖBEREINER; DAY, 1976), respectivamente, submetidos à temperatura de 28 °C por 72 horas, sendo feitas suspensões das mesmas em solução salina (NaCl 0,85%) com concentração final aproximada de 10^{10} células por mL⁻¹.

Os esporos dos fungos MA *G. clarum* e *G. intrarradices* foram propagados em vasos com *Bracchiaria decumbens* como planta hospedeira. O solo destes vasos contendo esporos e raízes colonizadas e hifas foram coletados e usados como inocula na semeadura das mudas.

8.3.4 Semeadura e Métodos de Inoculação Utilizados nas Mudanças

O plantio das sementes foi realizado imediatamente após a quebra da sua dormência por escarificação mecânica seguida de embebição em água destilada por 24 horas. A semeadura foi realizada em bandeja com areia lavada e esterilizada. As sementes permaneceram na bandeja até o aparecimento do primórdio radicular.

Após, houve a transferência das sementes após o surgimento da radícula para sacos plásticos contendo uma mistura de solo arenoso e areia na proporção de 1:1. Vinte dias após a emergência as mudas foram plantadas no campo experimental, num espaçamento de 2x3.

A inoculação dos microrganismos promotores de crescimento foi realizada nessa fase de produção. Para os tratamentos que continham fungos MA, foram adicionados dois gramas de inoculo bruto contendo esporos, hifas e raízes colonizadas antes da transferência da plântula. Já nas mudas tratadas com

bactérias fixadoras de N, foram adicionados 10 mL de suspensão bacteriana em solução salina (NaCl 0,85%), com concentração final aproximada de 10^{10} células por mL^{-1} ao redor da planta, depois da transferência para os sacos plásticos.

A adubação química foi feita antes do replantio das mudas em campo, com a adição de 100% da dose recomendada (150 gramas) de adubo químico formulado NPK 10-10-10 na cova, seguido da adição da muda em covas de 20cm.

8.3.5 O delineamento Experimental

O delineamento experimental foi montado em três blocos com 18 parcelas contendo 10 plantas cada, totalizando 54 parcelas. Sendo todos estes como o modelo mostrado na Figura 1, onde a ausência representada pela letra C, o adubo químico pela A, *G. intrarradices* pela sigla GI, *G. clarum* pela GC, *Burkholderia sp.* por B1 e *Rhizobium sp.* por B2.

Figura 1 – Disposição dos tratamentos entre os blocos com duas repetições

CF/CB/CA	CF/CB/A	CF/B1/AS	CF/B1/A	CF/B2/CA	CF/B2/A
GI/CB/CA	GI/CB/A	GI/B1/CA	GI/B1/A	GI/B2/CA	GI/B2/A
GC/CB/CA	GC/CB/A	GC/B1/CA	GC/B1/A	GC/B2/CA	GC/B2/A

8.3.6 Métodos de Avaliação

Foram feitas duas avaliações, aos 60 e 120 dias, medindo-se a altura total (cm) e o diâmetro (mm) da planta no altura do solo. Também foram avaliadas as taxas de crescimento para cada variável ao final do experimento, através da subtração dos dados obtidos na segunda avaliação pelos da primeira avaliação. A análise estatística dos dados foi feita mediante análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey (0,05).

8.4 RESULTADOS

8.4.1 Avaliação do Crescimento das Plantas

Na primeira medição das plantas, realizada 60 dias após o plantio, os tratamentos que apresentaram maior crescimento foram os que continham adubo (Tabela 1), não havendo influência significativa das bactérias fixadoras de N ou dos fungos MA no aumento da altura e do diâmetro das mudas. Caracterizando neste tempo como tratamento mais eficiente para o crescimento do guapuruvu o convencional, com o uso de adubo químico para prover nutrientes às mudas em estágio inicial de crescimento.

Tabela 1 – Efeito dos fungos micorrízicos (*G. clarum* e *G. intrarradices*) e bactérias fixadoras de N de vida livre (*Burkholderia SP* e *Rhizobium sp*) no diâmetro na superfície do solo (DAS) e altura total (H) em guapuruvu (*Schizolobium parahyba*), aos 60 e 120 dias depois do plantio em condições de campo.

TRATAMENTO	60 dias		120 dias	
	DAS	H	DAS	H
FUNGO				
Controle (sem inóculo)	5.150 a	28.844 a	8.555a	43.738 a
<i>G. clarum</i>	4.712 b	28.381 a	8.343 a	45.138 a
<i>G. intrarradices</i>	4.760 b	28.158 a	8.496 a	43.835 a
BACTÉRIA				
Controle (sem inóculo)	4.875 a	28.695 a	8.549 a	44.734 a
<i>Burkholderia sp.</i>	4.803 a	28.155 a	8.000 a	42.750 a
<i>Rhizobium sp.</i>	4.898 a	28.421 a	8.845 a	45.047 a
ADUBO				
Controle (sem inóculo)	4.674 b	27.608 b	8.367 a	43.808 a
Dose recomendada	5.046 a	29.276 a	8.571 a	44.580 a
ANOVA (p- values)				
Fungo	0.0001	0.2467	0.8701	0.4534
Bactéria	0.6380	0.4061	0.1001	0.1207
Adubo	0.000	0.000	0.5275	0.4303
Fungo*Bactéria	0.8630	0.0554	0.2701	0.1993
Fungo*Adubo	0.0041	0.3200	0.7714	0.4825
Bactéria*Adubo	0.0532	0.2349	0.8091	0.3994
Fungo*Bactéria*Adubo	0.0510	0.1447	0.0034	0.0012

Tratamentos seguidos da mesma letra não diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey (0,05%)

Na segunda avaliação das plantas, feita 120 dias após do plantio (Tabela1), o tratamento *G. clarum* + *Rhizobium sp.*, apresentou a maior média (49 centímetros) para a variável altura e o tratamento *G. intrarradices* + *Rhizobium sp.*, a maior média (10,022 milímetros) para o diâmetro (Tabela 2). Apesar da diferença entre os fungos nos tratamentos que otimizaram ambas variáveis, os dois tratamentos continham a bactéria *Rhizobium sp.* e ausência de adubo químico.

Tabela 2 – Desdobramento dos tratamentos com fungo dentre dos níveis de bactéria/adubo para às variáveis diâmetro na superfície do solo (DAS) e altura total (H) após 120 dias de plantio.

TRATAMENTO	DAS	H
<i>Burkholderia sp.</i> + A		
Controle Fungo	6.818 b	38.093 b
<i>G. clarum</i>	7.437 b	44.863 b a
<i>G. intrarradices</i>	9.045 b	45.681 a
<i>Rhizobium sp.</i> + A		
Controle Fungo	9.894 a	46.921 a
<i>G. clarum</i>	8.950 b a	46.700 a
<i>G. intrarradices</i>	7.555 b	39.833 b
<i>Rhizobium sp.</i> + CA		
Controle Fungo	7.722 b	40.755 b
<i>G. clarum</i>	8.400 b	49.000 a
<i>G. intrarradices</i>	10.022 b	47.909 b a
ANOVA (<i>p</i> - values)		
Fungo * B1 * A	0.0713	0.0237
Fungo * B2 * A	0.0484	0.0212
Fungo * B2 * CA	0.0381	0.0149

Tratamentos seguidos da mesma letra não diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey (0,05%)
 Legenda: A (expressa presença de adubo químico), CA (expressa ausência de adubo químico)

8.4.2 Incrementos em Centímetros no Diâmetro e na Altura das Plantas

O maior aumento na altura entre as primeira e a segunda avaliações (Tabela 4) foi observada no tratamento *G. clarum* + *Rhizobium sp* sem a adição de adubo. Já o maior aumento no diâmetro neste período ocorreu para as plantas submetidas à combinação de Fungo + Bactéria + Adubo, onde não houve diferença significativa entre os diferentes tratamentos (Tabela 3). A presença de fungo, bactéria e adubo foi suficiente para um maior aporte nesta variável.

Tabela 3 – *p*-valor (ANOVA) do incremento em diâmetro (DAS) e altura total (H) para as diferentes combinações de Fungo x Bactéria x Adubo após entre o período de 60 e 120 dias após o plantio.

TRATAMENTO	DAS	H
ANOVA (<i>p</i> - values)		
Fungo * <i>Burkholderia sp</i> * A	0.0670	0.0887
Fungo * <i>Burkholderia sp</i> * CA	0.2346	0.3852
Fungo * <i>Rhizobium sp</i> * A	0.4159	0.0908
Fungo * <i>Rhizobium sp.</i> * CA	0.0579	0.0406
Fungo * Controle sem Bactéria * A	0.3304	0.9165
Fungo * Controle sem Bactéria * CA	0.5540	0.6048

Tabela 4 – Desdobramento dos tratamentos com fungo dentro dos níveis de bactéria/adubo que apresentaram diferença significativa do incremento na variável altura no período entre 60 e 120 dias após o plantio

TRATAMENTO	H
<i>Rhizobium sp.</i> + CA	
Controle	15.388 b
<i>G. clarum</i>	21.890 a
<i>G. intrarradices</i>	19.576 b a

Tratamentos seguidos da mesma letra não diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey (0,05)

8.5 DISCUSSÃO

O uso de dupla inoculação nas mudas de *Schizolobium parahyba* propiciou o aumento na altura e no diâmetro das plantas.

O estudo realizado por SIVIERO *et al.* (2008) com o paricá (*Schizolobium amazonicum*) apresentou resultados diferentes dos obtidos neste trabalho, apesar das espécies arbóreas leguminosas pertencerem ao mesmo gênero. Os autores utilizaram microrganismos semelhantes aos utilizados com o guapuruvu; porém, na sua última medição das plantas, o tratamento com os melhores resultados para altura e diâmetro foi o que continha *G. clarum* e *Burkholderia sp.* Essa disparidade entre os resultados dos experimentos apenas

confirma que, apesar destas espécies serem do mesmo gênero, diferentes espécies de microrganismos promoverão um melhor crescimento para cada espécie, como foi pontuado por (JAKOBSEN, 1995; SANDERS *et al.*, 1996; ZANGARO *et al.*, 2002) quanto à colonização das raízes por fungos MA e a resposta à inoculação das plantas. O que ocorre não é uma especificidade para hospedeiro do fungo MA, mas sim diferentes graus de compatibilidade funcional entre os organismos simbiontes (COSTA *et al.*, 2001) justificando, assim, a diferença entre os microrganismos com melhores resultados para cada espécie arbórea.

Marques *et al.* (2001) obtiveram resultado semelhante ao deste estudo em mudas de *Centrolobium tomentosum*, onde a dupla inoculação trouxe melhores resultados para o crescimento em altura e diâmetro das plantas do que tratamentos com apenas inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio; diferentemente de Silva *et al.* (2005), que observou que o uso de colonização micorrízica levou a um maior aporte na altura de mudas de *Eremanthus erythropappus*. A obtenção de resultados positivos com o uso da inoculação isolada de fungos MA também foi observada por Diniz *et al.* (2010).

A presença do *Rhizobium sp.* nos dois tratamentos que obtiveram as melhores médias para as variáveis altura, diâmetro e também para o maior aporte em centímetros evidencia que este microrganismo tem uma função importante para o estabelecimento e desenvolvimento das mudas de guapuruvu em campo, apesar de ser uma bactéria simbiote e fixadora de nitrogênio de vida livre e do *Schizolobium parahyba* ser uma espécie de leguminosa não nodulante.

Shockley *et al.* (2004), realizou um experimento com uma espécie arbórea leguminosa típica dos Estados Unidos, *Desmanthus illinoensis*, onde, apesar da presença do *Rhizobium* não ter afetado a altura das plantas, afetou a colonização micorrízica, e as plantas que haviam sido inoculadas com fungos MA obtiveram melhores valores que o controle. Aumentando a colonização por fungos MA, essa espécie de bactéria fixadora de N de vida livre acaba por, indiretamente, contribuir para o melhor estabelecimento das mudas em campo, potencializando o efeito dos fungos MA.

A literatura afirma que fungos MA podem assumir um papel positivo no estabelecimento das plantas, não apenas absorvendo fosfato imóvel (HAYMAN, 1983), mas também aumentando o transporte de outros íons, proporcionando um aumento na absorção de nutrientes de baixa mobilidade no solo (MARSCHNER;

DELL, 1994). Estes microrganismos contribuem, principalmente, com o crescimento e sobrevivência das plantas em ambientes estressantes (SIQUEIRA; SAGGIN-JUNIOR, 1995). Os fungos MA também atuam transportando água (ALLEN; ALLEN, 1986) e melhorando a estrutura do solo, retendo mais facilmente a umidade (AUGÉ et al., 2001) e, conseqüentemente, melhorando a tolerância a seca ou a sobrevivência das plantas. É observado também um aumento na taxa fotossintética de plantas tratadas com estes organismos (SMITH; READ, 1997; ZANGARO et al., 2002) e uma melhor tolerância a doenças radiculares (MUNYANZIZA et al., 2001).

Neste estudo, o uso da inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos micorrízicos arbusculares para o *Schizolobium parahyba* teve comportamento similar e ou melhor que o do adubo químico, trazendo uma possível alternativa viável e ecológica para o estabelecimento e desenvolvimento de mudas para reflorestamento. O fato de que o *Schizolobium parahyba* pode ser considerado uma espécie promissora para a indústria madeireira, potencializa ainda mais os resultados deste trabalho. É de grande importância que, em estudos posteriores, sejam abordadas opções de produção em grande escala dos microrganismos a serem inoculados e também que sejam feitos experimentos com um maior período de duração.

8.6 CONCLUSÕES

Neste estudo foi observado que a dupla inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio de vida livre e fungos micorrízicos arbusculares em mudas da espécie arbórea *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake conhecida por guapuruvu, é eficiente para o crescimento em altura e diâmetro das mudas em campo, e pode ser considerada como uma alternativa mais ecológica e barata que pode ser aplicada ao desenvolvimento desta espécie em plantações comerciais. São necessários estudos posteriores mais longos para descobrir quais são as melhores espécies para esta associação que atinja os melhores resultados para as duas variáveis.

8.7 REFERÊNCIAS

- ALBINO, U. B. et al. Water relations of xeric grasses in the field: interactions of mycorrhizae and competition. **New Phytologist**, Cambridge, n.104, p. 559-571, 1986.
- ALLEN, E.B.; ALLEN, M.F. Water relations of xeric grasses in the field: interactions of mycorrhizae and competition. **New Phytologist**, v.104, p. 559–571, 1986.
- ALTERTHUM, F. Classificação dos seres vivos. In: TRABULSI, L. R.; ALTERTHUM, F. (Ed.). **Microbiologia**. 4.ed. São Paulo: Atheneu, 2005. p. 3-5.
- AMARO, A.; GONÇALVES, C.; DUARTE, S.; COSTA, C. A.; ALBANO, S; SALVADO, E.; MEXIA, A. Tomate para indústria: Biodiversidade e infra-estruturas ecológicas. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.31, n.2, p.43-49, jul./dez., 2008.
- ANDRADE, G. Role functional groups of microorganisms on the rhizosphere microcosm dynamics. In: VARMA, A. et al. (Org.). **Plant surface microbiology**. Berlim: Springer-Verlag, 2004. p. 51-69.
- ANDRADE, G. **Interacción de rizobacterias fijadoras de N₂ no simbióticas con hongos micorrízicos em la rizosfera de plantas de maíz crecidas em minirrizotróf. 1995. 117 f. Tese (Doutorado em Microbiologia) - Universidad de Granada, Granada, 1995.**
- ATLAS, R. M.; BARTHA, R. (Ed.). **Microbial ecology: fundamentals and applications**. 2nd ed. California: The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1987.
- AUGÉ, R. M.; STODOLA, A.J.W.; TIMS, J.E.; SAXTON, A.M. Moisture retention propertie of a mycorrhizal soil. **Plant and Soil**, The Hague, v.230, n.1, p. 87-97, 2001.
- BECKER, B. K. Amazônia: construindo o conceito e a conservação da biodiversidade prática. In: GARAY, I.; DIAS, B. F. S. (Ed.). **Conservação da biodiversidade em ecossistema tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento**. Petrópolis: Vozes, 2001. p. 92-101.
- CARNEIRO, C. E. A. **Manejo de solo fundamentado no equilíbrio químico**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.
- CARSON, R. **Primavera silenciosa**. Tradução de Raúl de Polilo. São Paulo: Melhoramentos, 1964.
- COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E. L. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 1994.
- COSTA, A. A. V. M. R. Agricultura Sustentável I: Conceitos. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.31, n.2, p. 61-73, jul./dez. 2008.

COSTA, C. M. C.; MAIA, L.C.; CAVALCANTE, U.M.T.; NOGUEIRA, R.J.M.C. Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o crescimento de dois genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.10, p. 893-901, 2001.

DINIZ, P. F. de A. OLIVEIRA, L.E.M.; GOMES, M.P.; CASTRO, E.M.; MESQUITA, A.I.; BONOME, L.T.S.; SILVA, L. Crescimento, parâmetros biofísicos e aspectos anatômicos de plantas jovens de seringueira inoculadas com fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum*. **Acta Botânica Brasílica**, Porto Alegre, v.24, n.1, p. 65-72, 2010.

DÖBEREINER, J.; DAY, J. M. Associative simbiose in subtropical grasses: characterization of microorganisms and dinitrogens fixing sites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NITROGEN FIXATION II, 1., 1976, Pullman. **Proceedings...** Pullman: Washington State University, 1976. p. 518-538.

FERNANDES JÚNIOR, P. I.; REIS, V. M. **Algumas limitações à fixação biológica de nitrogênio em leguminosas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 252).

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas da evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados no domínio da Mata Atlântica no período 1990-1995**. São Paulo: INPE, 2011.

GARAY, I.; DIAS, B. **Conservação da biodiversidade em ecossistema tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento**. Petrópolis: Vozes, 2001.

HAYMAN, D. S. The physiology of vesicular arbuscular endomycorrhizal symbiosis. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.61, p. 944-963, 1983.

HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 1994.

JAKOBSEN, I. Transport of phosphorus and carbon in va mycorrhizas. In: VARMA, A.; HOCK, B. (Ed). **Mycorrhiza: structure, function, molecular biology and biotechnology**. Berlin: Spring – Verlag, p. 297-324, 1995.

LOVATO, G. M. **Interações entre micorriza arbuscular e rizobactérias em leguminosas arbóreas destinadas a reflorestamento**. 2006. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira Para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989.

MARQUES, M. S.; PAGANO, M.; SCOTTI, M. R. M. M. L. Dual inoculation of a woody legume (*centrolobium tomentosum*) with rhizobia and mycorrhizal fungi in south-eastern Brazil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v.50, n.2, p. 107-117, 2001.

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, The Hague, v.159, p.89-102, 1994.

MOREIRA, M. S. M.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: Ed. UFLA, 2006.

MUNYANZIZA, E.; KEHRI, H. K.; BAGYARAJ, D. J. Agricultural intensification, soil biodiversity and agro-ecosystem function in the tropics: the role of mycorrhiza in crops and trees. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.6, p.77-85, 1997.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos de ecologia**. Tradução Pégasus Sistemas e Soluções. São Paulo: Thomson Learning, 2008.

RAYNAUT, C. Meio ambiente e desenvolvimento: construindo um novo campo do saber a partir da perspectiva interdisciplinar. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n.10. p. 21-32, jul./dez. 2004.

REIS, V. M.; ANDRADE, G.; FARIA, S.M.; SILVEIRA, A.P.D. Interações de fungos micorrízicos arbusculares com outros mecanismos do solo. In: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. (Org.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Ed. UFLA, 2010.

SANDERS, I. R.; CLAPP, J. P.; WIEMKEN, A. The genetic diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in natural ecosystems : a key to understanding the ecology and functioning of the mycorrhizal symbiosis. **New Phytologist**, Cambridge, v.133, p.123-134, 1996.

SHOCKLEY, F. W.; MCGRAW, R. L.; GARRETT, H. E. Growth and nutrient concentration of two native forage legumes inoculated with *rhizobium* and mycorrhiza in Missouri, USA. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v.60, p. 137-142, 2004.

SILVA, A. C.; VIEIRA, C. T.; ROSADO, S. C. da S. Variabilidade em *eremanthus erythropappus* para resposta à inoculação micorrízica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.3, p. 400-405, 2005.

SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; SILVA, C. A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e sub-tropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

SIQUEIRA, J. O. et al. Micorrizas e a degradação do solo: caracterização dos efeitos e ação recuperadora. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. v.5, p. 219-306.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic Press, 1997.

SOARES, C. R. F. S.; CARNEIRO, M. A. C. Micorrizas arbusculares na recuperação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (Org.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: Ed. UFLA, 2010.

STANGHELLINI, M. E. et al. Serological and physiological differentiation among isolates of erwinia carotovora from potato and sugarbeet. **Phytopathology**, Saint Paul, v.67, p. 1178-1182, 1977.

STEVENSON, G. B. **Biologia dos fungos, bactérias e vírus**. São Paulo: Polígono, 1974.

STROHL, W. A.; HARRIET, R.; FISHER, B. D. **Microbiologia ilustrada**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TRABULSI, L. R.; ALTERTHUM, F. **Microbiologia**. 4.ed. São Paulo: Atheneu, 2005.

VELOSO, C. A. C. et al. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.49, n.1, p. 123-128, 1992.

YOUNÉS, T. Ciência da biodiversidade: questões e desafios. In: GARAY, I.; DIAS, B. F. S. (Ed.). **Conservação da biodiversidade em ecossistema tropicais**: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento. Petrópolis: Vozes, 2001. p. 29-41.

ZANGARO, W. et al. Micorriza arbuscular em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi, Paraná. **CERNE**, Lavras, v.8, n.1, p. 77-87, 2002.

ZANONI, M. et al. A construção de um curso de pós-graduação interdisciplinar em meio ambiente e desenvolvimento: princípios teóricos e metodológicos. In: RAYNAUT, C. et al. (Org.). **Desenvolvimento e meio ambiente**: em busca da interdisciplinaridade: pesquisas urbanas e rurais. Curitiba: Ed. UFPR, 2002. p. 9 -25.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados obtidos no cultivo de mudas do guapuruvu em condição de campo, confirmaram a hipótese lançada em relação à expectativa do maior desenvolvimento da altura do caule e diâmetro do tronco da planta, promovida através da interação simbiótica da inoculação de microrganismos promotores de crescimento do tipo *G. intrarradices* e *G. clarum*, bactérias do tipo *Burkholderia sp* e *Rhizobium sp*, se comparado com os cultivados com adubo químico formulado NPK 10-10-10. Entretanto, este resultado só passou a ser comprovado após o período de 120 dias de cultivo período no qual a simbiose a infecção dos fungos e bactérias nas raízes se deu por estabelecida.

O desenvolvimento do guapuruvu nutrindo a planta com microrganismos simbiotes, como fungos e bactérias, representa uma perspectiva alternativa e uma expectativa tecnológica a uma agricultura ambientalmente mais adequada. O uso destes recursos disponíveis na natureza poderá contribuir, significativamente, em muitas frentes de trabalho agrícola com a redução no uso dos agroquímicos, por suas funções nutricionais e terapêuticas.

O uso dos microrganismos como agentes promotores de crescimento das plantas possibilitarão em breve para o agricultor, uma alternativa tecnológica além das convencionais já consolidadas no âmbito agrícola.

Outro fato, conclusivo é, que num contexto holístico, a Agronomia, juntamente com a Biologia, nos estudos sobre a planta, constróem além de uma engenharia de plantas, uma medicina da planta, como o médico o faz ao ser humano e o veterinário em um animal.

E, no tocante ao guapuruvu, face os positivos resultados obtidos neste experimento, pesquisas contínuas estão sendo realizadas no Laboratório de Ecologia Microbiana da Universidade Estadual de Londrina, sob a coordenação do Prof. Dr. Galdino Andrade, no sentido de viabilizar o seu desenvolvimento comercial no Paraná.