

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E  
SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA – PPGASA

AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DE SOLOS ANTRÓPICOS  
(Terra Preta de Índio) COM ÊNFASE NA BIODISPONIBILIDADE  
DO FÓSFORO

ANA CRISTINA SOUZA DA SILVA

MANAUS  
2006

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E  
SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA – PPGASA

ANA CRISTINA SOUZA DA SILVA

AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DE SOLOS ANTRÓPICOS  
(Terra Preta de Índio) COM ÊNFASE NA BIODISPONIBILIDADE  
DO FÓSFORO

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Agricultura e Sustentabilidade na  
Amazônia da Universidade Federal  
do Amazonas, como requisito  
parcial para a obtenção de título de  
Mestre em Agricultura e  
Sustentabilidade na Amazônia, área  
de concentração Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Newton Paulo de Souza Falcão

MANAUS  
2006

Ficha Catalográfica  
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Silva, Ana Cristina Souza da

Avaliação da fertilidade de solos antrópicos (Terra Preta de Índio) com ênfase na biodisponibilidade do fósforo / Ana Cristina Souza da Silva. - Manaus: UFAM, 2006.

116 f.; il.

Dissertação (Mestrado em Agricultura e Sustentabilidade na Amazônia) — Universidade Federal do Amazonas, 2006.

Orientador: Prof. Dr. Newton Paulo de Souza Falcão

1. Terra-preta de índio – Amazônia 2. Análise química dos solos 3. Milho 4. Feijão caupi I. Falcão, Newton Paulo de Souza II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU 631.412(811.3)(043.3)

ANA CRISTINA SOUZA DA SILVA

AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DE SOLOS ANTRÓPICOS  
(Terra Preta de Índio) COM ÊNFASE NA BIODISPONIBILIDADE  
DO FÓSFORO

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Agricultura e Sustentabilidade na  
Amazônia da Universidade Federal  
do Amazonas, como parte do  
requisito para a obtenção de título  
de Mestre em Agricultura e  
Sustentabilidade na Amazônia, área  
de concentração Agroecologia.

Aprovada em 30 de agosto de 2006.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Newton Paulo de Souza Falcão, Presidente  
Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia

Prof. Dr. Hedinaldo Narciso Lima, Membro  
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Wenceslau Gerales Teixeira, Membro  
Embrapa Amazônia Ocidental

Aos meus pais, Amadeu e Cecília, a  
minha avó Francisca e ao meu Avô  
Raimundo, aos meus irmãos e às minhas  
filhas Nayane e Nayara, pelo incentivo,  
amor e compreensão para a realização  
deste trabalho.

***Dedico.***

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus pelo dom da vida e por ter me dado forças para ultrapassar todas as dificuldades impostas pela vida;

Ao Dr. Newton Paulo de Souza Falcão pela orientação e contribuição para minha formação profissional.

Ao Dr. Luis Augusto do Inpa, que muito contribui, para a realização do meu trabalho.

A todos os mestres que transmitiram seus conhecimentos e experiências profissionais;

Em especial aos amigos José Risonei, Ângela Maria, Marta Aires, Suzy e Andrea que, durante esses anos, nos momentos difíceis, me apoiaram e me ajudaram a superar as dificuldades.

Aos funcionários da Faculdade de Ciências Agrárias e do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia em especial aos técnicos do laboratório temático de Solos e Plantas

Aos demais amigos e parentes que torceram por esta conquista e pela realização profissional.

Aos meus pais, filhas, irmãos e sobrinhos, pelo amor, carinho dedicação e compreensão, o que proporcionou a realização deste sonho.

A Universidade Federal do Amazonas e ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, pela oportunidade e a FAPEAM pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Dr. Nicholas B. Comerford, pela idealização do projeto.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação acadêmica.

## RESUMO

Os solos de terra firme do trópico úmido, tais como os solos da Amazônia são altamente intemperizados e conseqüentemente apresentam baixo conteúdo de nutrientes disponíveis para as plantas. Entretanto, as Terras Pretas de índio da Amazônia, de origem pré-histórica, são diferentes dos Latossolos e Argissolos, por apresentarem coloração muito escura, alto teor de matéria orgânica, elevado pH e alto teor de cálcio, magnésio trocáveis e alguns micronutrientes. Um experimento em casa de vegetação foi conduzido no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus-Am-Brasil, com o objetivo de avaliar a variabilidade na fertilidade e a biodisponibilidade do fósforo em amostras de Terra Preta e Solos Adjacentes. Milho e caupi, foram plantados em cultivos contínuos, em vasos com 4 kg de solo coletados de 3 sítios (Costa do Açutuba (Lat. 3° 30' S e Long. 60° 20' WGr.); Costa do Laranjal (Lat. 3° 30' S e Long. 60° 40' WGr.); e Rio Preto da Eva (Lat 3° S e Long. 59° WGr.), dois solos por sítio (Terra Preta e Solo Adjacente) e irrigados com solução nutritiva menos fósforo e irrigado com água até atingir a capacidade de campo, seguindo um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x2x2 com 12 tratamentos e 4 repetições totalizando 48 unidades experimentais. A solução nutritiva foi aplicada para todos os nutrientes menos fósforo, possibilitando uma bioanálise da biodisponibilidade do fósforo dos solos coletados nos diferentes sítios e profundidades. As plantas foram colhidas quando completaram 45 dias de idade, a matéria seca total da parte aérea e do sistema radicular e o total de nutrientes absorvido pelas plantas foram medidos, adicionalmente a variabilidade na fertilidade do solo e o fracionamento do fósforo foram avaliados após a colheita do milho e do caupi. Os resultados mostraram que as Terras Pretas, são mais férteis quando se comparou o crescimento e acúmulo de nutrientes dos tratamentos que receberam somente água. No entanto os tratamentos com Terra Preta que foram irrigados somente com água apresentaram limitações com relação a nutrientes como o potássio e o zinco, o que em alguns casos afetou o desenvolvimento das plantas e causou um desbalanço nutricional. Por outro lado, nos tratamentos que foram irrigados com solução nutritiva menos fósforo o crescimento das plantas de milho e a absorção de nutrientes pelas mesmas foi maior. Os resultados também mostraram que parte do fósforo disponível nos solos, provavelmente, foram imobilizados por alguns elementos menores como o Zn e o Fe, presentes na solução nutritiva. Com relação ao estoque de fósforo nos solos, foi observado um predomínio do fosfato de alumínio em todos os tratamentos estudados, o que sugere que a fonte primária dos elevados níveis de fósforo e cálcio nas Terras Pretas seja o fosfato de cálcio.

**Palavras Chaves: milho, feijão caupi, Terra-preta, fracionamento do P**

## ABSTRACT

Upland soils in the humid tropics such as in the Amazon are highly weathered and therefore possess low plant available nutrient content. However, Amazonian Dark Earths (ADE) of prehistoric origin are differentiated from Oxisol and Ultisol by their darker color, higher organic matter content, higher pH, greater total phosphorus (P) content, greater exchangeable calcium (Ca) and magnesium (Mg), and increased minor element concentrations.

A greenhouse experiment was carry out at the National Institute for Amazon Research, Manaus, AM, Brasil, to evaluate the fertility variability and the phosphorus bioavailability of the Amazon Dark Earth and surrounding soils. Corn (*Zea mays* L.) and Cowpea (*Vigna unguiculata* L. (Walp)) were planted in continnuos crops in pots with four kg of soils collected from three sites (Açutuba Cost (Lat. 3° 30' S e Long. 60° 20' WGr.); Laranjal Cost (Lat. 3° 30' S e Long. 60° 40' WGr.); and Rio Preto da Eva (Lat 3° S e Long. 59° WGr.) farmers), two soils per sites (Amazon dark earth and Surrounding soil), and watered with minus phosphorus nutrient solution and watered with distilled water to field capacity, following a randomized factorial design (3x2x2) with 12 treatment and four replication, totaling 48 pots. The nutrient solution was applied to supply the nutrient minus P, giving a bioassay of P bioavailability for the different soil location and depths. Entire plants were harvested at the end of 45 days and total dry matter of shoots, roots and total nutrients uptake by plants were measured. Additionally soil fertility variability and phosphorus fractionation was done after Corn and Cowpea harvested.

The results showed that Amazon Dark Earth soils are inherently more fertile by contrasting the growth and nutrient accumulation in the water only pots. However, The treatment Amazon Dark earth watered with only distilled water presented some limitation concerning the potassium, and zinc, in some cases affecting the plant growing, and also the soil fertility analysis presented nutritional disequilibrium. In on another hand, those treatment that received nutrient solution minus phosphorus showed increased on growth and nutrient uptake by Corn only. The results also showed that part of P available in the soil was, probably, immobilized by some minor elements such as zinc, iron of the nutrient solution.

Regarding the phosphorus soil pool was observed high amounts of aluminium phosphate in all treatment studied, this results suggested that the higher sources of p available and ca exchangeable would be the calcium phosphate.

**Key-words:** Amazon Dark Earths, Fertility and phosphorus fractionation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição das Manchas de Terra Preta na Amazônia.....	20
Figura 2. Esquema de uma aldeia indígena, mostrando como se originaram as terras pretas de índio.....	21
Figura 3. Perfil de Terra Preta (TP) e Solo Adjacente (SA), mostrando contraste entre os solos.....	22
Figura 4. Localização geográfica das sítios estudados.....	27
Figura 5. Esquema demonstrativo do procedimento de fracionamento do Fósforo, segundo Chang; Jackson, 1957.....	33
Figura 6. Procedimentos iniciais do Fracionamento do Fósforo. ....	34
Figura 7. Agitação e centrifugação das amostras no processo de fracionamento do Fósforo..	34
Figura 8. Extratos obtidos após a extração, colorimetria e determinação das frações do Fósforo.....	34
Figura 9. Efeito do fósforo absorvido na parte aérea de plantas de milho ( <i>Zea mays</i> L.) em três sítios (A), dois tipos de solo (B), com e sem adubação (C). * <sup>1</sup> .....	66
Figura 10. Efeito do fósforo absorvido na parte aérea de plantas de feijão caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.) em três sítios (A), dois tipos de solo (B), com e sem adubação (C). * <sup>1</sup> .....	88
Figura 11. Caracterização do estoque de fósforo no solo, dos sítios 1, 2 e 3, em terra preta camadas 0-20 (A) e 20-40 (B), e solo adjacente camadas 0-20 (C) e 20-40 (D). * <sup>1</sup> .....	92
Figura 12. Caracterização do estoque de fósforo no solo de terra preta, depois do plantio do milho ( <i>Zea mays</i> L.), dos sítios 1, 2 e 3, na camada 0-20, sem adubação (A) e com adubação (B), e na camada 20-40, sem adubação (C) e com adubação (D). * <sup>1</sup> .....	96
Figura 13. Caracterização do estoque de fósforo no solo adjacente, depois do plantio do milho ( <i>Zea mays</i> L.), dos sítios 1, 2 e 3, na camada 0-20, sem adubação (A) e com adubação (B), e na camada 20-40, sem adubação (C) e com adubação (D). * <sup>1</sup> .....	97
Figura 14. Caracterização do estoque de fósforo no solo de terra preta, depois do plantio do feijão caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.), dos sítios 1, 2 e 3, na camada 0-20, sem adubação (A) e com adubação (B), e na camada 20-40, sem adubação (C) e com adubação (D). * <sup>1</sup> .....	102
Figura 15. Caracterização do estoque de fósforo no solo adjacente, depois do plantio do feijão caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.), dos sítios 1, 2 e 3, na camada 0-20, sem adubação (A) e com adubação (B), e na camada 20-40, sem adubação (C) e com adubação (D). * <sup>1</sup> .....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas e composição granulométrica das amostras de solos coletadas em três sítios arqueológicos, de diferentes locais no Amazonas.....	42
Tabela 2. Efeito da interação entre sítios e o tipo de solo, na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de milho ( <i>Zea mays</i> L.), aos 45 dias após o cultivo. *1, *2 .....	45
Tabela 3. Efeito da interação entre sítios e de tratamentos de adubação, na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de milho ( <i>Zea mays</i> L.), aos 45 dias após o cultivo. *1, *2 .....	47
Tabela 4. Efeito da interação entre o tipo de solo e de tratamentos de adubação, na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de milho ( <i>Zea mays</i> L.), aos 45 dias após o cultivo. *1 .....	50
Tabela 5. Dados da análise de variância e parâmetros estatísticos da interação tripla entre locais (sítios 1, 2 e 3), tipo de solo (terra preta e solo adjacente) e tratamentos de adubação (com e sem), na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de milho ( <i>Zea mays</i> L.), aos 45 dias após o cultivo. *1, *2 .....	52
Tabela 6. Efeito da interação entre sítios e do tipo de solo, nos atributos químicos do solo, após 45 dias do cultivo de milho ( <i>Zea mays</i> L.). *1, *2 .....	57
Tabela 7. Efeito da interação entre sítios e de tratamentos de adubação, nos atributos químicos do solo, após 45 dias do cultivo de milho ( <i>Zea mays</i> L.). *1, *2 .....	59
Tabela 8. Efeito da interação entre o tipo de solo e de tratamentos de adubação, nos atributos químicos do solo, após 45 dias do cultivo de milho ( <i>Zea mays</i> L.). *1 .....	62
Tabela 9. Dados da análise de variância e parâmetros estatísticos da interação tripla entre locais (sítios 1, 2 e 3), tipo de solo (terra preta e solo adjacente) e tratamentos de adubação (com e sem), nos atributos químicos do solo, após 45 dias de cultivo do milho ( <i>Zea mays</i> L.). *1, *2 .....	64
Tabela 10. Efeito da interação entre sítios e o tipo de solo, na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de feijão caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.), aos 45 dias após o cultivo. *1, *2 .....	71

Tabela 11. Efeito da interação entre sítios e de tratamentos de adubação, na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de feijão caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.), aos 45 dias após o cultivo. * <sup>1</sup> , * <sup>2</sup> .....	73
Tabela 12. Efeito da interação entre o tipo de solo e de tratamentos de adubação, na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de feijão caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.), aos 45 dias após o cultivo. * <sup>1</sup> .....	75
Tabela 13. Dados da análise de variância e parâmetros estatísticos da interação tripla entre locais (sítios 1, 2 e 3), tipo de solo (terra preta e solo adjacente) e tratamentos de adubação (com e sem), na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de feijão caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.), aos 45 dias após o cultivo. * <sup>1</sup> , * <sup>2</sup> ...	77
Tabela 14. Efeito da interação entre sítios e o tipo de solo, nos atributos químicos do solo, após 45 dias do cultivo de feijão caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.). * <sup>1</sup> , * <sup>2</sup> .....	80
Tabela 15. Efeito da interação entre sítios e de tratamentos de adubação, nos atributos químicos do solo, após 45 dias do cultivo de feijão caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.). * <sup>1</sup> , * <sup>2</sup>	82
Tabela 16. Efeito da interação entre o tipo de solo e de tratamentos de adubação, nos atributos químicos do solo, após 45 dias do cultivo de feijão caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.). * <sup>1</sup> ...	84
Tabela 17. Dados da análise de variância e parâmetros estatísticos da interação tripla entre locais (sítios 1, 2 e 3), tipo de solo (terra preta e solo adjacente) e tratamentos de adubação (com e sem), nos atributos químicos do solo após 45 dias de cultivo feijão caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.). .....	86

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
<b>1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 Solos de Terra Firme da Amazônia .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2 As Terras Pretas de Índio na Amazônia .....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 O fósforo no sistema solo/planta .....</b>	<b>24</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1 Características gerais das áreas de coleta das amostras .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2 Coleta das amostras de solo para avaliação da fertilidade .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3 Análise química dos solos .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4 Coleta de solo para montagem do experimento.....</b>	<b>30</b>
<b>2.5 Experimento em casa de vegetação.....</b>	<b>30</b>
<b>2.6 Delineamento Experimental.....</b>	<b>30</b>
<b>2.7 Adubação e plantio .....</b>	<b>31</b>
<b>2.8 Colheita do experimento e amostras de solo para as análises químicas .....</b>	<b>31</b>
<b>2.9 Fracionamento do Fósforo .....</b>	<b>32</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Características Físicas e Químicas dos solos estudados .....</b>	<b>35</b>
3.1.1 Características granulométricas .....	35
3.1.2 A acidez ativa, acidez trocável e acidez potencial.....	35
3.1.3 Teores de fósforo e matéria orgânica .....	37
3.1.4 As bases trocáveis (K,Ca,Mg), a soma de bases (SB), a saturação por bases (%V) e a Capacidade de troca de cátions efetiva (t).....	39
3.1.5 Micronutrientes .....	40
<b>3.2 Ensaio com milho.....</b>	<b>43</b>

3.2.1 Desenvolvimento e conteúdo de nutrientes nas plantas de milho aos 45 dias de cultivo.....	43
3.2.2 Características químicas dos solos após o plantio do milho .....	55
<b>3.3 Ensaio com feijão caupi.....</b>	<b>69</b>
3.3.1 Matéria seca e acúmulo de nutrientes nas plantas de caupi.....	69
3.3.2 Características químicas dos solos após o plantio feijão caupi.....	78
<b>3.4 Fracionamento do Fósforo no solo.....</b>	<b>90</b>
3.4.1 Fracionamento do Fósforo no solo antes dos plantios.....	90
3.4.2 Fracionamento do Fósforo no solo, após o do plantio milho .....	93
3.4.3 Fracionamento do Fósforo no solo após o plantio do feijão .....	98
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>109</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>110</b>

## INTRODUÇÃO

A região Amazônica brasileira cobre uma área de aproximadamente cinco milhões de quilômetros quadrados, com grande parte sendo recoberta pela floresta primária sem sofrer uma influência humana acentuada. No entanto, os solos sob florestas vêm sofrendo, ao longo de milhões de anos, um processo de intemperização contínuo, resultando nos solos atuais de baixa fertilidade e elevada acidez (NASCIMENTO, HOMMA, 1984). A dificuldade de um manejo sustentado das florestas tropicais úmidas é assim devida, principalmente a ruptura dos ciclos biogeoquímicos durante o processo exploratório, uma vez que a nutrição das plantas é feita através de uma forte reciclagem dos nutrientes, estando grande parte desses nutrientes concentrados na biomassa vegetal. Dessa forma, o uso desses solos para atividades agrícolas convencionais é muito limitado, pois devido aos baixos teores de nutrientes, a produtividade dos mesmos é assegurada apenas até o segundo ou no máximo o terceiro ano de cultivo (KRONBERG *et al.*, 1979; McCUNE, 1981).

Os solos do trópico úmido brasileiro, encontram-se em dois distintos ambientes: a várzea e a terra firme. Os solos de várzea localizam-se nas margens de rios de água barrenta, são inundáveis periodicamente e tem sua fertilidade natural renovada após cada enchente, ocorrendo aí solos geralmente Hidromórficos e classificados como Neossolos, (EMBRAPA, 1999). Já os solos de terra firme, são terras altas, cujos solos predominantes são os Latossolos e os Argissolos, com estrutura física considerada boa, porém com baixa fertilidade natural. As principais limitações de fertilidade dos solos de terra firme da Amazônia são: acidez elevada, deficiência de P, baixa capacidade de troca de cátions e deficiência de N, K, S, Ca, Mg, B, Cu, Zn. Além disso, deve-se mencionar a alta capacidade desses solos em fixar P aplicado através da adubação, o que minimiza a eficiência da adubação fosfatada e eleva ainda mais os custos com a aquisição destes adubos, (SÁNCHEZ, COCHRANE, 1979).

Além dos solos de várzea e de terra firme, encontram-se também em toda a Amazônia manchas de solos conhecidas como terra preta (TP) ou terra mulata (TM), essas manchas caracterizam-se por serem um tipo de solo de terra firme, apresentando uma camada superficial bastante profunda com coloração preta ou marrom escura, e também por apresentarem pedaços de cerâmicas e alta fertilidade (SOMBROEK, 1966). Considerando que esses solos apresentam elevado conteúdo de carbono orgânico, alto teor de cálcio, magnésio e fósforo (SOMBROEK, 1966; FALESI, 1972, FALCÃO *et al.*, 2001) questiona-se como os grupos indígenas, Ameríndios, conseguiram introduzir material com altos teores desses elementos, importantes para fertilidade do solo e nutrição das plantas; como se pode explicar a preciosa propriedade química coloidal da terra preta e da terra mulata; e se essa estabilidade é um resultado das características mineralógicas desses solos, envolvendo uma complexação cripto-cristalina com um mineral de argila predominante como a Caulinita, através de ligações com o Ca e o P ou com compostos de cálcio e fosfatos ou somente com o carbono orgânico.

Pequenos e médios produtores dos municípios de Manacapuru, Iranduba, Presidente Figueiredo e Rio Preto da Eva trabalham em manchas de terra preta ou terra mulata por várias décadas, não somente cultivando hortaliças como também espécies como laranja, cupuaçu, côco, mamão, maracujá, etc. em sistemas de monocultivos, cultivos consorciados e até mesmo em sistemas agroflorestais. A maioria dos produtores relata que as terras pretas e/ou terras mulatas são extremamente férteis e que não precisam de adubos para obter uma alta produtividade. Entretanto, a prática tem mostrado que a terra preta e/ou terra mulata apresentam alguns nutrientes limitantes ao desenvolvimento e produtividade das culturas. Além desses fatores limitantes, a exploração intensiva e indiscriminada desses solos tem causado a degradação química, física e biológica ao longo dos anos.

A utilização de altas doses de fertilizantes químicos e orgânicos e corretivos agrícolas tem levado a um desbalanço nutricional afetando diretamente a crescimento e a produção de algumas culturas. Nesse contexto, trabalhar juntos com os agricultores, no sentido de orientá-los num adequado manejo da fertilidade desses solos, pode contribuir substancialmente para o desenvolvimento de práticas conservacionistas, evitando a degradação e assegurando uma produtividade máxima econômica.

Contudo, é necessário ressaltar a importância de se preservar os sítios de Terra Preta onde a exploração ainda não ocorre, bem como conservar os sítios onde trabalham pequenos produtores, em virtude dessas manchas representarem um patrimônio histórico para humanidade, onde se encontram itens como: patrimônio genético e conhecimento tradicional associado, que precisam ser resguardados da destruição.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo Geral:**

Caracterizar a fertilidade de solos de terra preta e de solos circunvizinhos e avaliar a biodisponibilidade do fósforo.

### **Objetivos Específicos:**

1. Avaliar características químicas das terras pretas e dos solos adjacentes.
2. Avaliar a biodisponibilidade do fósforo nos solos de terra preta e solos adjacentes, através de cultivo em casa de vegetação, utilizando como plantas-teste o milho (*Zea mays* L.) e o feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp);
3. Proceder o fracionamento do fósforo nos solos de terra preta e solos adjacentes: fósforo em solução, fósforo ligado ao cálcio, alumínio e ferro.

## 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 Solos de Terra Firme da Amazônia

O uso do solo para fins agrícolas, não somente na Amazônia, como também em qualquer outra região do mundo, somente pode ser verdadeiramente contínuo e sustentável quando o agricultor adotar práticas de manejo efetivamente capazes de evitar o gradativo empobrecimento do mesmo. Esse empobrecimento resulta tanto da retirada de nutrientes do solo pelas colheitas sucessivas como das alterações físicas ou químicas que podem ocorrer em consequência da erosão, da lixiviação e da compactação do solo.

VIEIRA e SANTOS (1987) classificam em seis as grandes unidades de relevo da Amazônia: Altos Planaltos, Planaltos Rebaixados, Superfícies Aplainadas, Depressões, Planícies Fluviais e Planícies Flúvio-marinhas. Essas unidades estão relacionadas a diversos tipos de vegetação e clima.

A geologia da bacia Amazônica é formada em grande parte por depósito do Paleozóico ou do Cenozóico, podendo-se encontrar na região leste mais estreita da bacia depósitos do Paleozóico. A formação Trombetas ocorre nas bacias do alto, médio e baixo Amazonas, aflorando nos flancos norte e sul da bacia sedimentar paleozóica do Amazonas (SCHOBENHAUS, 1984). Afastando-se das bordas da bacia, em direção a parte mais central, constata-se a presença de grandes extensões formadas por depósitos do Terciário, conhecido como formação Alter do Chão e Formação Solimões. (SCHOBENHAUS, 1984).

Os solos predominantes em toda a região Amazônica pertencem a classe dos Latossolos e dos Argissolos, caracterizados pelo baixo teor de nutrientes, acidez elevada, alta saturação de alumínio, predominância de minerais de argila de baixa atividade, baixa capacidade de troca de cátions e grande quantidade de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (SANCHEZ , COCHRANE, 1979; FALESI, 1982; VIEIRA, 1988).

A maioria dos solos da região tem perfis profundos, são porosos, com 40-50% de volume de poros, dos quais 67% correspondem à microporos. As taxas de infiltração de água são altas, este fator aliado à baixa CTC favorecem a lixiviação dos nutrientes, especialmente a de bases trocáveis que, entretanto não se perdem em maior proporção, dificilmente, chegando ao subsolo por serem antes colhidas pela rede das raízes das árvores e daí recicladas.

## 1.2 As Terras Pretas de Índio na Amazônia

Em toda a Amazônia é possível encontrar manchas de solos conhecidas comumente como Terra Preta de Índio ou somente Terra Preta (TP), que são caracterizadas por um tipo de solo de terra firme, com uma camada superficial bastante espessa de coloração preta ou marrom escura, contendo pedaços de cerâmicas, sendo reconhecido regionalmente como um solo com alta fertilidade, estas manchas recobrem principalmente, solos cauliniticos intemperizados, constituindo assim uma das feições mais interessantes da paisagem amazônica e representam um importante registro da ocupação humana e do uso do solo na Amazônia por populações pré-colombianas (SOMBROEK, 1966; LIMA, 2001).

As Terras Pretas existem principalmente na Amazônia e há mais de 100 anos, cientistas têm verificado a sua ocorrência, muitos autores, têm relatado a ocorrência de áreas de solos antrópicos com horizonte A de cor escura e altos teores de fósforo e cálcio, conhecidas vulgarmente como Terra Preta de Índio (SOMBROEK, 1966; ZECH et al., 1979; SMITH, 1980).

As Terras Pretas podem ser encontradas sobre os mais diversos tipos de solos, Latossolos, Argissolos, Plintossolos (SOMBROEK, 1966; SMITH, 1980), em terra firme e situação topográfica que permite boa visibilidade da região. Segundo o SISBCS, as Terras Pretas são classificadas como LATOSSOLOS AMARELOS Coesos Antrópicos, que são solos com horizonte A antrópico, ou seja, horizonte formado ou modificado pelo uso contínuo do solo pelo homem, como lugar de residência ou cultivo, por períodos prolongados com adições de material orgânico, ocorrendo, às vezes, fragmentos de cerâmicas e restos de ossos, (EMBRAPA, 1999a). Existem algumas controvérsias, referente a essa classificação, uma vez que as manchas podem ser encontradas recobrendo diferentes tipos de solo.

A terra preta (TP) do índio ou terra mulata (TM) pode ser encontrada desde as bases inclinadas das montanhas das Cordilheiras dos Andes até a Ilha de Marajó no Oceano

Atlântico, (Figura1). Inserida em uma variedade de solos e paisagens, em dimensões que podem variar de menos de um hectare até alguns quilômetros quadrados (WOOD, MCCANN, 1999).

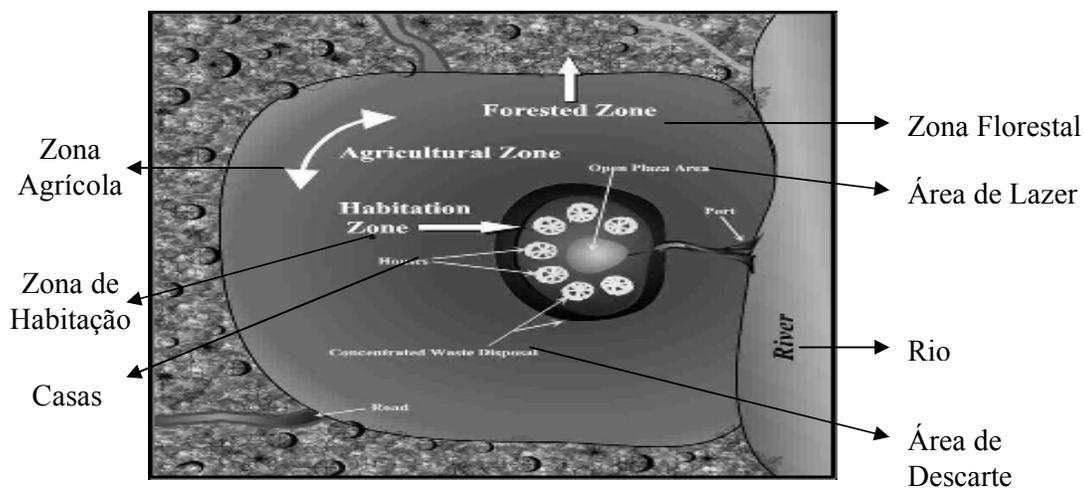


**Figura 1.** Distribuição das Manchas de Terra Preta na Amazônia  
Fonte: Wood; Mc.Cann (1999).

Ocorreram durante anos, muitas especulações sobre a origem da TP e da TM, as primeiras teorias sobre a origem desses solos propuseram que os mesmos desenvolveram a partir de antigos depósitos de cinzas vulcânicas, ou material orgânico acumulado em lagos passados ou ainda em pequenos pontos de lagoas e, que as cerâmicas encontradas nesses solos foram deixadas pelos Ameríndios, atraídos pela elevada fertilidade natural dessas terras (GOUROU, 1949; SOMBROEK, 1966; FALESI, 1972).

Atualmente a teoria aceita por diversos cientistas, é a de que esses solos foram realmente, formados através de resíduos acumulados em torno das antigas áreas habitadas pelos índios (Figura 2). Essa teoria tem sido reforçada com base nas seguintes características: a textura da terra preta (TP) ou da terra mulata (TM) é muito semelhante a textura dos solos adjacentes; existe uma similaridade entre o subsolo subjacente à TP e a TM e o subsolo dos solos circunvizinhos as mesmas; ocorrência de terra preta em uma variedade de mesmo

conjunto de paisagem; com ocorrência de cerâmica e fragmentos líticos e características químicas comumente associadas com habitação humana (SOMBROEK, 1966; RODRIGUES, 1993).



**Figura 2.** Esquema de uma aldeia indígena, mostrando como se originaram as terras pretas de índio.  
Fonte : WOODS et al., 2000, *Appl GEOGR Conf* 23, 114-121).

O descarte de lixo dos povos que habitavam a Amazônia deve ter sido de grande significação para o aumento de matéria orgânica no solo. Produtos alimentícios de origem vegetal como, por exemplo, a mandioca, o açaí, a bacaba, etc. e de origem animal como ossos, carapaças de tatu, quelônios, caranguejo, conchas, etc., produzem grande quantidade de matéria orgânica que não é consumida, permanecendo no local. Esses resíduos orgânicos devem ser os responsáveis diretos pelo aumento do teor de elementos químicos nas Terras Pretas (KERN, 2002).

Pabst (1991), estudando terras pretas da região de Belterra-PA, verificou que o húmus na TP é na ordem de seis vezes mais estável à decomposição que o húmus do Latossolo. A maior estabilidade da matéria orgânica da TP, em relação à degradação, faz com que a TP seja considerada pelos caboclos como inesgotável em termos de fertilidade.

De acordo com Eidt (1997), o fósforo, na forma de fosfato, é especialmente apropriado para detectar solos influenciados por assentamentos, conhecidos como antropossolos, em

razão de sua associação universal com a atividade humana. Apesar disso, a identificação das fontes primárias de P e de suas formas secundárias de ocorrência nas Terras Pretas tem merecido poucos estudos.

Ao contrário dos fragmentos de artefatos cerâmicos e líticos, que são facilmente identificáveis “in loco”, não é possível identificar as fontes primárias de P e Ca, atribuídos à incorporação de ossos de animais (e, possivelmente, humanos), espinhas de peixes e carapaças de quelônios (SMITH, 1980) sem o auxílio de técnicas de análises químicas. Por meio de análises químicas, como fracionamento das formas de P, é possível inferir-se com razoável segurança a fonte primária de P, desde que o estágio de intemperismo desta suposta fonte não seja avançado (LIMA, 2001).

Existem algumas diferenças entre um perfil de terra preta e um perfil de latossolo, entre as quais pode-se destacar a cor, profundidade e presença de fragmentos de cerâmica, diferenças essas, que podem ser observadas a olho nú e que ajudam o observador identificar uma provável mancha de TP (Figura 3). No entanto, a confirmação de que realmente é uma mancha de TP, só poderá ser feita através da análise química do solo, na qual será avaliado principalmente o teor de P e também os outros parâmetros de fertilidade do solo.



**Figura 3.** Perfil de Terra Preta (TP) e Solo Adjacente (SA), mostrando contraste entre os solos.

Fonte: Newton Falcão

O conhecimento da fertilidade do solo é fundamental, uma vez que o adequado manejo desta é responsável por grande parte dos ganhos de produtividade da agricultura, através das práticas de calagem e adubação, que representam uma boa parcela dos custos de produção das lavouras. Neste contexto usar de forma eficiente os corretivos e fertilizantes torna-se extremamente importante não só no aspecto financeiro, mas também no que diz respeito à conservação ambiental.

Dentre os métodos de avaliação da fertilidade do solo a análise química do solo tem se constituído no sistema mais utilizado. Isso ocorre devido principalmente à rapidez, baixo custo, maior difusão, calibração já existente e possibilidade de manejar a fertilidade antes do plantio. Um ponto que merece ser enfatizado é que, primordialmente, as técnicas de levantamento e diagnose da fertilidade do solo devem ser empregadas sob o enfoque preventivo aos possíveis problemas nutricionais. Muitas vezes quando determinado problema se manifesta visualmente, as produções já podem estar comprometidas em 50% ou mais (LOPES, CARVALHO, 1991).

### 1.3 O fósforo no sistema solo/planta

Existe um paradoxo entre a natureza essencial do fósforo (P) para a vida e sua disponibilidade limitada na natureza (GLASS et al., 1980 apud STAUFFER, SULEWSKI, 2004). O P é componente vital para todos os seres vivos. Nas plantas, o P é necessário para a fotossíntese, respiração, função celular, transferência de genes e reprodução, existe, portanto uma ligação crítica entre o P e a vida propriamente dita e torna-se óbvio que sem fósforo não há células, nem plantas, nem grãos ocasionando assim muita fome (STAUFFER, SULEWSKI, 2004), no entanto o fósforo é o elemento que mais limita o desenvolvimento das culturas, devido a sua deficiência generalizada na grande maioria dos solos do Brasil e do Mundo (LOPES et al., 2004 apud YAMADA, ABDALLA 2004).

O P, escasso na maioria dos solos apresenta mecanismos de conservação bastante efetivos, embasados na fixação (transformação de P-Lábil em P não-Lábil). Nos solos Tropicais, que são mais intemperizados e onde a presença do P é mais escassa, a fixação é maior e a passagem para a forma não-lábil é bem mais rápida, fixando grande percentual do que é aplicado através de adubos (formas solúveis); as plantas tornam-se mais eficiente em utilizar o pouco P que lhe é liberado para a formação de biomassa, etc. O problema pode se torna ainda mais crítico pois o P retido inicialmente na forma lábil, ainda sujeito à dessorção e é retido com mais energia com o passar do tempo (NOVAIS, SMITH, 1999).

As plantas absorvem os nutrientes através das raízes, sendo ele essencial ou não, porém para que isso aconteça é necessário o elemento chegue junto à raiz, o que pode ocorrer a medida que a raiz cresce. No entanto a absorção do P através da interceptação radicular é muito pequena, em relação à que se obtém por difusão, que é o transporte de P na solução do solo, em direção à superfície da raiz, local em que a concentração de P é menor, por estar sendo absorvido (NOVAIS, SMITH, 1999).

A diferença de concentração de P entre a superfície da raiz (menor concentração) e a solução do solo mais distante (maior concentração) cria um gradiente de concentração de P o que faz com que esse elemento, em suas formas iônicas, difunda-se até as raízes, onde poderá ser absorvido. Para o compartimento planta seja alcançado, o P deverá ser absorvido em determinada taxa bem maior que a relativa a perdas do P já absorvido. Quando a concentração de P é muito alta em uma planta, as perdas podem ocorrer em níveis mais elevados, o que não é o caso da maioria dos solos tropicais, de modo geral (NOVAIS, SMITH, 1999).

As perdas do P em solução podem ser por erosão, nas camadas mais superficiais do solo e mais ricas em P; por Lixiviação, possível em solos mais arenosos, quando a quantidade de P proveniente de uma fonte qualquer se aproxima do poder de adsorção máxima de P do solo ou ultrapassa; ou mesmo por volatilização desse elemento em altas temperaturas (NOVAIS, SMITH, 1999).

Na Amazônia cerca de 78% dos solos são deficientes em fósforo, além da deficiência natural outros fatores como altos teores de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio que contribuem para a fixação do fósforo e baixa capacidade de troca de cátions que esses solos apresentam (BRADY, 1983).

Há diferenças entre solos, na eficiência de utilização de fósforo pelas plantas, relacionadas com processos de adsorção. Segundo Alcarde *et al.* (1991), estima-se que apenas 5% a 25% do fósforo solúvel adicionado ao solo como adubo seja aproveitado pela cultura que o recebeu e que 95% a 80% dele seja fixado. O conteúdo e a forma de óxidos de ferro e alumínio ou o teor de alumínio trocável do solo são os principais fatores responsáveis pela fixação de fósforo, um processo que devido à sua ampla ocorrência em solos de regiões tropicais precisa ser caracterizado e quantificado. O termo fixação de P envolve mecanismos de adsorção, através de ligações eletrostáticas ou covalentes, e de precipitação, com formação de compostos insolúveis, tornando o elemento indisponível para as plantas (SÁNCHEZ, 1976).

Na maioria dos solos ácidos, a concentração de íons ferro e alumínio excedem de muito a dos íons  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , conseqüentemente os íons  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  reagem quimicamente com os íons  $\text{Al}^{+++}$  e o  $\text{Fe}^{++}$  solúveis formando compostos fosfatados insolúveis, restando quantidades diminutas de íon  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  imediatamente assimiláveis pelos vegetais (FASSBENDER, 1982; BRADY, 1983). O íon fosfato reage, não somente em presença do ferro, do alumínio e do manganês solúveis, como também no caso dos hidróxidos insolúveis destes elementos como pôr exemplo, na limonita e da goetita. Na realidade, a quantidade exata de fósforo fixado por esses minerais nos solos ácidos excede bastante aquela que é devida à precipitação química pelos cátions solúveis de ferro, de alumínio e de manganês. Os compostos formados como resultante da fixação pelos óxidos de ferro de alumínio, são provavelmente os hidróxifosfatos (BITTENCOURT, ZAMBELLO JÚNIOR, 1975; BRADY, 1979; FASSBENDER, 1982).

A capacidade de fixação de fósforo dos solos pode ser influenciada pelo conteúdo de matéria orgânica, hidróxidos livres de alumínio e ferro, minerais de argila existentes, pH, cátions presentes no sistema e pelo tipo de fertilizante empregado (SMITH, 1980). Segundo Novais e Kamprath (1979), a correlação significativa normalmente existente entre a sorção máxima de P e esses parâmetros do solo, que por sua vez se correlacionam com o "fator capacidade", situa a sorção máxima como "fator capacidade de P do solo". O uso de modelos de regressão para estimar parâmetros de fixação de fósforo para os solos seria valioso aos profissionais que atuam no campo da ciência do solo, com o objetivo de selecionar áreas ou solos que apresentem menor potencial para "fixação" de fósforo. Solos com menor capacidade de "fixação" necessitam menores doses de aplicação de fertilizantes fosfatados, um componente muito importante para redução dos custos de produção, para desenvolvimento agrícola de uma região (LOPES, 1984).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Características gerais das áreas de coleta das amostras

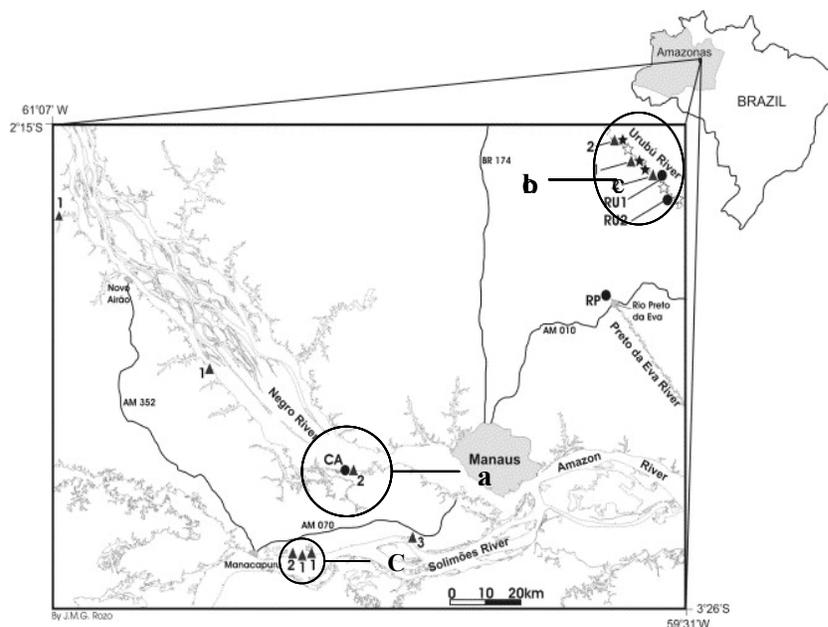
O projeto teve duração de 24 meses, iniciou-se no primeiro semestre de 2004 e terminou no primeiro semestre de 2006. As atividades foram desenvolvidas em casa de vegetação e no Laboratório Temático de Solos e Plantas da Coordenação de Pesquisas em Ciências Agrônômicas do Instituto nacional de Pesquisas da Amazônia.

As amostras de solos foram coletadas em três sítios arqueológicos, conforme localização geográfica observada na Figura 4.

a) Sítio 1: propriedade do Sr. Edson, localizado no Km 30 da AM – 070 no Ramal da Serra Baixa, Costa do Açutuba, Município de Iranduba (Lat. 3° 30' S e Long. 60° 20' WGr.);

b) Sítio 2: Fazenda jiquitaia, localizada no Km 80 da AM – 010, Município de Rio Preto da Eva (Lat 3° S e Long. 59° WGr.);

c) Sítio 3: propriedade do Sr. Edmilson, localizado no Km 62 da AM - 070 no Ramal do Costa do Laranjal, Município de Manacapuru (Lat. 3° 30' S e Long. 60° 40' WGr.);



**Figura 4.** Localização geográfica das sítios estudados  
 Fonte: science@direct: Agriculture, Ecosystems & Environment, Volume 111, Issues 1-4, 1 December 2005, pages 1-12.

As áreas estudadas incluem-se no contexto da Amazônia central, onde o clima, de acordo com a classificação de Koppen, caracteriza-se como **Ami**, clima tropical com regime pluviométrico anual superior a 2000 mm. O uso atual da terra varia de acordo com a área, no sítio do Sr. Edson, são cultivadas espécies de hortaliças e mamão, onde são utilizados adubos químicos e orgânicos bem como máquinas de pequeno porte. No sítio do Sr. Edmilson, a predominância é de espécies frutíferas como a laranja e o cupuaçu, caracterizando sistemas agroflorestais, não há utilização de máquinas porém a adubação, química e orgânica, tem sido realizada. Na fazenda Jiquitaia, a área é utilizada para o plantio de grama, sendo praticada uma agricultura comercial e bastante tecnificada,

Em cada sítio foram estudados dois tipos de solos correspondendo a Terra Preta de Índio, que são manchas de terra de cor escura com elevado nível de fertilidade e Solo Adjacente, que são LATOSSOLOS ou ARGISSOLOS caracterizados como solos de baixa fertilidade.

## **2.2 Coleta das amostras de solo para avaliação da fertilidade**

A coleta das amostras destinada a avaliação da fertilidade foi realizada tomando-se uma amostra composta a partir de 25 amostras simples de cada profundidade (0-20 cm e 20-40 cm) do solo de Terra Preta e do Latossolo ou Argissolo adjacente à mesma. Considerando os três sítios com ocorrência de solos antrópicos, obteve-se 12 amostras compostas, sendo seis amostras de Terra preta e seis amostras de solos adjacentes.

### 2.3 Análise química dos solos

As análises dos solos foram realizadas, de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1999b).

O pH foi determinado, em água, em suspensão solo/água relação 1:2,5 g.mL<sup>-1</sup>, e em KCl. O conteúdo de carbono orgânico foi determinado pela oxidação dos compostos orgânicos do solo por dicromato de potássio em meio ácido. Os cátions trocáveis (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) foram extraídos por KCl 1 mol.L<sup>-1</sup> e o K<sup>+</sup>, foi extraído pelo extrator Mehlich-1 (HCl 0,05 M + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 M), em seguida foram quantificados por espectrometria de absorção atômica.

O Al<sup>3+</sup> foi extraído por KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e a acidez potencial (H<sup>+</sup>+ Al<sup>3+</sup>) foi extraída por acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0, em seguida foram quantificados por titulometria com NaOH.

Apartir dos valores obtidos foram calculados: soma de bases trocáveis (SB); capacidade de troca de cátions efetiva (CTC); percentagem de saturação por alumínio (m); capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC potencial do solo); percentagem de saturação por bases da CTC a pH 7,0 (V%), (EMBRAPA, 1999b).

O fósforo disponível (P<sup>+</sup>) foi extraído pelo extrator Mehlich-1 seguido de determinação colorimétrica (BRAGA, DEFELIPO, 1974). Os micronutrientes ferro (Fe, Zn e Mn) foram extraídos pelo extrator Mehlich-1 e quantificados por espectrometria de absorção atômica. Também foi realizada a análise granulométrica pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1979).

Os níveis de fertilidade utilizados para interpretação dos resultados para as culturas de acordo com Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999) e Cochrane (1984).

#### **2.4 Coleta de solo para montagem do experimento**

Em cada sítio foram abertos dois perfis, um em terra preta e outro no solo adjacente, de onde foram coletadas amostras de solos das profundidades 0-20 e 20-40, para a montagem do experimento em casa de vegetação. Porém só foram utilizadas para fins estatísticos os dados relacionados a profundidade 0-20. Os dados oriundos da profundidade 20-40 só foram utilizados para a caracterização do estoque de formas de fósforo no solo (Fracionamento do Fósforo).

Depois de coletadas, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com malha de 4 mm de abertura, homogeneizadas e colocadas em vasos plásticos com capacidade para quatro quilos.

#### **2.5 Experimento em casa de vegetação**

Visando avaliar a biodisponibilidade do P nos solos de Terra Preta, para as plantas foi montado um experimento em casa de vegetação, com cultivos sucessivos de milho (*Zea mays* L.) e feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp).

#### **2.6 Delineamento Experimental**

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com esquema fatorial (3x2x2), correspondendo a três sítios (Um em Iranduba, um em Manacapuru e um no Rio Preto da Eva), dois tipos de solos (Terra Preta e Latossolo), na profundidade 0-20 cm, com e sem adubação, perfazendo um total de 12 tratamentos com 4 repetições e 48 unidades experimentais.

## 2.7 Adubação e plantio

A adubação utilizada foi uma solução nutritiva completa com omissão de fósforo de acordo com a metodologia descrita por Sarruge (1975), esta solução proporcionou uma bioanálise da biodisponibilidade do P para as diferentes condições de solos e profundidade. A adubação foi realizada somente no primeiro o plantio (milho), no segundo plantio (feijão) os vasos foram irrigados somente com água.

Foram plantadas em cada vaso nove sementes de milho ou de caupi, conforme à cultura estabelecida, obtidas do Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia, EMBRAPA-CPAA, Manaus. Após doze dias da semeadura, foi feito um desbaste, restando três plântulas por vaso. Durante todo o experimento, a umidade dos solos foi mantida a 60% do volume total de poros (VTP), por meio de pesagens periódicas dos vasos.

## 2.8 Colheita do experimento e amostras de solo para as análises químicas

As plantas foram colhidas 45 dias após a semeadura, separadas em raízes e parte aérea total, colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C, até atingir peso constante.

As plantas foram pesadas (parte aérea e raiz) e moídas (parte aérea). Depois de moída a parte aérea das plantas foi submetida a uma digestão nitro-perclórica (SARRUGE, HAAG, 1974), obtendo-se um extrato no qual foram efetuadas as determinações analíticas dos teores de cálcio, magnésio, potássio, zinco, manganês e ferro por espectrometria de absorção atômica e o fósforo, por colorimetria. Os níveis adequados de nutrientes nas plantas de milho foram observados de acordo com Raij e Cantarella (1996) e nas plantas de feijão de acordo com Oliveira e Dantas (1988).

No momento da colheita das plantas também foram coletadas amostras de solo de cada vaso para a determinação dos teores de P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup> e Fe<sup>3+</sup>, para a qual realizou-

se uma extração com solução Mehlich-1 (HCl 0,05 M + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 M). Do extrato obtido foram quantificados: o P no espectrofotômetro por colorimetria. Enquanto o K<sup>+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup> e Fe<sup>3+</sup>, foram determinados por espectrometria de absorção atômica.

Para cada amostra de solo, foram realizadas análises químicas, de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1999b).

Todos os dados coletados foram tabulados e realizou a análise de variância e teste de média, usando-se o programa Estat.

## **2.9 Fracionamento do Fósforo**

Para cada sítio, tipo de solo e profundidade 0-20 e 20-40, foram separadas sub-amostras para se realizar o fracionamento do P de acordo com procedimento descrito por Chang e Jackson (1957).

Foi pesada 0,5 g de solo, de cada amostra coletada, em tubos de centrífuga, em seguida adicionou-se 20 mL de uma solução extratora de cloreto de amônio (NH<sub>4</sub>Cl) 1M, em seguida agitou-se por 30 minutos, em agitador horizontal (Figura 6), depois de agitadas as amostradas foram centrifugadas a uma rotação de 4600 rpm durante quinze minutos (Figura 7), retirou-se então a solução sobrenadante que foi denominada solução A (Figura 5), onde foi determinado por colorimetria o fósforo inorgânico em solução, (Figura 8).

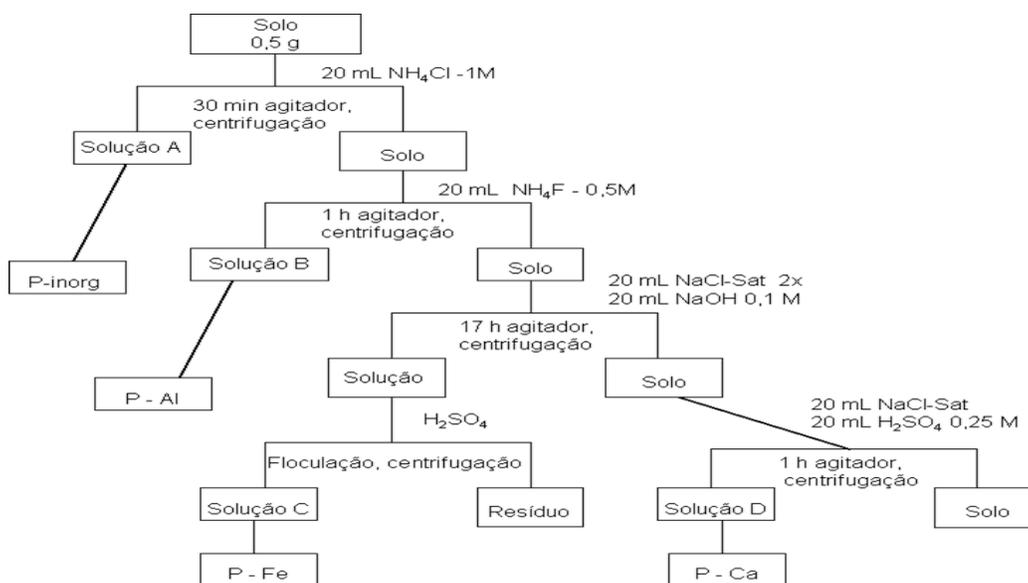
Ao solo contido no tubo de centrífuga, foi adicionada 20e mL da solução extratora de fluoreto de amônio (NH<sub>4</sub>F) 0,5M. As amostras foram agitadas por uma hora e centrifugadas por quinze minutos. Depois da centrifugação retirou-se a solução B (Figura 5), na qual foi quantificado por colorimetria o fósforo ligado a alumínio (P-Al).

O solo foi lavado duas vezes com solução saturada de cloreto de sódio (NaCl), após cada lavagem centrifugado por quinze minutos.

Uma nova extração foi realizada, utilizando-se solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1M, 20 ml por amostra. A agitação foi por dezessete horas e o tempo de centrifugação foi o mesmo das etapas anteriores, depois da extração, a solução obtida de cada amostra, foi passada para outro tubo de centrífuga, ao qual foi adicionado três gotas de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado, para o clareamento da mesma, chamado de processo de floculação. A solução límpida foi denominada solução C (Figura 5), na qual foi determinado por colorimetria o fósforo ligado ao ferro (P-Fe).

O solo foi novamente lavado por duas vezes com solução saturada de cloreto de sódio (NaCl) e após cada lavagem centrifugado por quinze minutos.

Na última etapa do fracionamento, utilizou-se a solução extratora de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 0,25M, 20 mL para cada amostra, a agitação foi por uma hora e a centrifugação por quinze minutos. A solução obtida nesta fase foi chamada de solução D (Figura 5). Obtendo-se, através da colorimetria o fósforo ligado ao cálcio (P-Ca).



**Figura 5.** Esquema demonstrativo do procedimento de fracionamento do Fósforo, segundo Chang; Jackson, 1957.



**Figura 6.** Procedimentos iniciais do Fracionamento do Fósforo.



**Figura 7.** Agitação e centrifugação das amostras no processo de fracionamento do Fósforo.



**Figura 8.** Extratos obtidos após a extração, colorimetria e determinação das frações do Fósforo.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Características Físicas e Químicas dos solos estudados**

##### **3.1.1 Características granulométricas**

Com base no Manual de descrição e coleta de solos no campo (LEMOS, SANTOS, 1982), a Terra Preta da Costa do Açutuba apresentou classe textural Areia Franca, semelhante ao seu solo adjacente. A Terra Preta e o solo Adjacente do Rio Preto da Eva foram classificados como Franco Arenoso. Por outro lado observou-se uma pequena variação na classe textural da Terra Preta da Costa do Laranjal (Franco Argilo Arenoso) e o Solo Adjacente que apresentou textura Areia Franca. Esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Lima (2001).

##### **3.1.2 A acidez ativa, acidez trocável e acidez potencial**

Os valores de  $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$  (0-20 cm) nas Terras Pretas variaram de 6,09 a 5,36, enquanto que nos Solos Adjacentes foram encontrados valores de 4,72 a 4,74, Smith (1980), Eden et al. (1984), Kern e Kämpf (1989) e Lima (2001) encontraram valores de  $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$  nas Terras Pretas de vários locais da Amazônia muito próximos dos encontrados no presente estudo. Na camada 20-40 cm o  $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$  das Terras Pretas variou entre 5,62 a 4,99, revelando maior acidez ativa quando comparado com os valores de  $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$  encontrados na camada 0-20 cm. Nos Solos Adjacentes, valores de  $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$  água foram 4,48 e 4,67, considerados valores extremamente ácidos (Tabela 1).

Em geral não houve uma variação brusca do  $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$  em profundidade, Mello (1987), relata que os diversos ácidos orgânicos fracos, presentes na matéria orgânica dos solos que se ligam com seus sais, formam um sistema tampão, que confere uma certa resistência às variações do pH do solo.

A determinação do  $\Delta\text{pH}$  ( $\text{pH}_{(\text{KCl})} - \text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ ) é importante para os estudos de manejo da fertilidade do solo. Esse parâmetro revela o grau de intemperização dos solos, tendo uma relação direta com o balanço de cargas existentes na fase sólida do solo (FASSBENDER, 1982; SANCHEZ, 1981). Todos os tratamentos apresentaram valores negativos de  $\Delta\text{pH}$ , o que indica predomínio de carga superficial líquida negativa.

A acidez trocável refere-se ao  $\text{Al}^{3+}$  e ao  $\text{H}^+$  trocáveis e adsorvidos nas superfícies dos colóides minerais ou orgânicos por forças eletrostáticas. Quando se fala que um solo apresenta toxidez de alumínio, significa dizer que esse solo apresenta altos índices de acidez trocável ou acidez nociva, a qual pode ser eliminada através da calagem (RAIJ, 1991). Observa-se que a acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) apresentou valores extremamente baixos nas duas profundidades estudadas em todos os solos de Terra Preta, exceto no sítio Rio Preto da Eva, que na camada mais profunda o valor encontrado é considerado tóxico, enquanto que todos os Solos adjacentes apresentaram a acidez trocável considerada tóxica, (Tabela 1).

Um outro fator importante que deve ser considerado é o valor da acidez potencial do solo, ou acidez total. A necessidade de calagem no solo em geral, está relacionada não somente a elevação do pH, mas também está relacionada com a capacidade de troca de cátions (CTC) e com o poder tampão do solo (RAIJ, 1991). Os valores da acidez potencial encontrados nos Solos de Terra Preta da Costa do Açutuba e do Sítio Rio Preto da Eva foram superiores aos valores encontrados nos Solos Adjacentes, nas duas profundidades, enquanto que na Costa do Laranjal, somente na camada superficial do solo de Terra Preta foi verificado acidez potencial superior ao solo adjacente, (Tabela 1).

Esses resultados podem estar relacionados com o alto teor de matéria orgânica presentes nesses solos antrópicos, uma vez que, a acidez potencial refere-se ao total de  $\text{H}^+$  +  $\text{Al}^{3+}$  trocáveis, que estão em ligação covalente, certamente esse alto valor encontrado está relacionado com  $\text{H}^+$  liberado pela matéria orgânica. Meurer (2004), relata que os grupos

funcionais da matéria orgânica do solo (carboxílicos principalmente) liberam  $H^+$ , o que constitui parte da acidez potencial do solo e o pH não se modifica sensivelmente devido ao poder tampão da matéria orgânica.

Com relação a porcentagem de saturação de alumínio os valores encontrados nas terras pretas da Costa do Açutuba e da Costa do Laranjal foram extremamente baixos quando comparados com os valores encontrados nos solos adjacentes destes mesmos sítios. Por outro lado a porcentagem de saturação por alumínio encontrada na Terra Preta do Rio Preto da Eva foi muito elevada quando comparada com os outros sítios de Terra Preta, porém foi inferior aos valores encontrados no Solo Adjacente desta mesma área. Esses resultados mostram que existe uma variabilidade muito grande das características químicas entre os sítios de terra preta distribuídos na região. Os valores mais altos da CTCe (t) foram encontradas na terra preta do sítio da Costa do Laranjal, nas duas profundidades (Tabela 1).

### **3.1.3 Teores de fósforo e matéria orgânica**

As Terras Pretas apresentaram teores muito elevados de P disponível (Mehlich-1), atingindo  $307,35 \text{ mg kg}^{-1}$ . Os sítios de Terra Preta Costa do Laranjal e Rio Preto da Eva apresentaram teores de P semelhantes nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, porém, no sítio Costa do Açutuba os teores mais elevados de P ocorreram na camada de 20-40 cm (Tabela 1), Kern e Kämpf (1989) e Lima (2001) também observaram teores mais elevados de P em camada mais sub-superficial (20-40). A variação do P em profundidade pode ser atribuída ao abandono temporário do sítio, à mudança no tamanho da população ou na forma de subsistência (SJOBERG, 1976), ou ainda, resulta da lixiviação, em decorrência dos teores muito elevados de P, das perdas por erosão e do uso agrícola atual, com depleção do P em superfície (LIMA, 2001). Outros autores (SMITH, 1980; KERN, KÄMPF, 1989; KERN,

COSTA,1997; LIMA, 2001) também observaram teores elevados de P disponível (Mehlich-1) em Terras Pretas de diferentes locais da Amazônia.

A mobilidade do P pode ser favorecida pelo maior acúmulo de matéria orgânica na camada superficial dos solos de Terra Preta (LIMA, 2001). Ácidos orgânicos adsorvidos aos óxidos de Fe e Al podem bloquear sítios de adsorção de P (IYAMUREYE, DICK, 1996). No entanto, a MOS, dado o seu caráter aniônico, pode favorecer a adsorção de P, por intermédio de íons Al, Fe e Ca, a ela adsorvidos (NOVAIS, SMITH, 1999). De acordo com Lima (2001), esta mobilidade pode resultar, ainda, do excesso de fosfato incorporado na superfície, que supera as exigências das plantas e satura os sítios de adsorção de P, o que aumenta seu potencial de perdas por lixiviação.

Nas Terras Pretas os teores de Carbono Orgânico Total (COT) variaram de 15,59 a 70,74 g.kg<sup>-1</sup> esses valores foram maiores que encontrados nos Solos Adjacentes, nos quais os teores de COT variaram de 9,6 a 19,77 g.kg<sup>-1</sup>. Outros autores também observaram valores mais elevados de COT nas Terras Pretas que nos solos adjacentes (SMITH, 1980; EDEN et al., 1984; PABST, 1991).

De acordo com os níveis estabelecidos por Cochrane (1984), as Terras pretas apresentaram teores de COT considerados de médios a altos e os Solos Adjacentes de médios a baixos. Lima (2001), relata que esse atributo tem sido considerado como distintivo entre as Terras Pretas e os Solos Adjacentes.

### 3.1.4 As bases trocáveis (K,Ca,Mg), a soma de bases (SB), a saturação por bases (%V) e a Capacidade de troca de cátions efetiva (t)

Os teores de potássio encontrados são considerados baixos, com exceção da terra preta do sítio Costa do Laranjal nas duas profundidades, nas quais os teores encontrados foram considerados médios. Ao contrário dos teores de cálcio e fósforo, que foram muito elevados nos solos de terra preta, os teores de potássio são menos expressivos, embora ligeiramente maiores que os teores deste nutriente encontrados nos solos adjacentes (Tabela 1). O potássio pode ser um elemento limitante da produção das espécies cultivadas nas Terras Pretas. Considerando que os níveis médios adequados de cálcio magnésio e potássio são: 2,8  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , 0,8  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  e 0,23  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , respectivamente, pode-se inferir que a menor relação de cálcio, magnésio e potássio encontrada em uma das áreas com solos de Terra Preta (2,40  $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$  de Ca, 0,13  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  de magnésio e 0,05  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  de K), apresenta um alto desequilíbrio nutricional para crescimento e a produção das plantas.

Os teores de cálcio, nas Terras Pretas variaram de 8,26 a 2,37 ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) e nos Solos Adjacentes essa variável ficou em torno de 0,13, a 0,02 ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) (Tabela 1). O teor de Ca trocável é uma variável química que tem sido utilizada para caracterizar um solo de terra preta, considerando que mais de 75% dos solos que predominam na Amazônia (Latosolos e Argissolos) não apresentam teores de Ca tão elevados quanto os encontrados nesses solos de origem antrópica. Observa-se que os maiores teores desse cátion trocável ocorreram na profundidade 0-20 cm, esses resultados não diferiram dos trabalhos relatados por outros autores, (FALCÃO, 2003; KERN, 2003; LEMMAM, 2003; MADARY, 2003). De acordo com os critérios adotados por Cochrane et. al (1984), os teores de cálcio encontrados na Terra Preta da Costa do Laranjal, tanto na camada superficial (0-20 cm) como na camada de sub-superfície (20-40 cm), foram considerados altos, estes foram os maiores valores de cálcio observados em todas as áreas trabalhadas. As Terras Pretas dos outros sítios, nas duas

profundidades, apresentaram valores considerados médios e os Solos Adjacentes, de todos os sítios e nas duas profundidades apresentaram teores cálcio considerados baixos (Tabela 1). O alto teor de Ca trocável encontrado principalmente na camada superficial das terras pretas está relacionado com a grande quantidade de resíduos orgânicos que foram depositados nessas áreas ao longo de centenas de anos (KERN, 2002).

A terra preta que apresentou maior teor de magnésio foi a do sítio Costa do Laranjal na profundidade 0-20 ( $1,03 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), esse teor, segundo os critérios de Cochrane (1984), foi considerado alto, nos demais sítios, solos e profundidades os teores encontrados são considerados de médio ( $0,51$  e  $0,47 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) a baixo ( $0,07$  e  $0,05 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). Como era de se esperar a Terra Preta da Costa do Laranjal foi quem apresentou maiores valores de Soma de bases, CTC efetiva e CTC potencial, tanto na camada 0-20 cm como na 20-40 cm, pois neste sítio o sistema de cultivo utilizado é de sistema agroflorestal e não há utilização de máquinas agrícolas, o que ajuda a conservar as características químicas da terra, ocorre uma menor degradação do solo.

Considerando que tanto as Terras Pretas como os Solos Adjacentes apresentam características mineralógicas semelhantes, com predominância de óxidos e hidróxidos de Al, Fe e Al e minerais de argila caulinita de grade 1:1, (COSTA et al., 2003). Pode-se inferir que os valores mais altos de CTC potencial encontradas nas terras pretas são principalmente devido aos altos teores de matéria orgânica encontrados nesses solos. Por outro lado, os teores de  $\text{Al}^{3+}$  e os valores de saturação por alumínio são menores nas Terras Pretas parâmetro esse que interfere diretamente no valor final da CTC efetiva, (Tabela 1).

### **3.1.5 Micronutrientes**

As Terras Pretas de todos os sítios apresentaram teores muito elevados de zinco e manganês, ao contrário do que ocorreu nos solos adjacentes nos quais os teores encontrados

foram considerados baixos. Para o ferro ocorreu o inverso, os teores encontrados nas terras pretas, nas duas profundidades estão entre 10 e 80 mg kg<sup>-1</sup>, valores considerados médios, já os teores encontrados os solos adjacentes, nas duas profundidades, foram superiores a 80 mg kg<sup>-1</sup>, sendo portanto considerados altos.

Os maiores teores de Fe foram observados na camada sub-superficial. O que sugere que o Fe nas camadas superficiais está na forma de óxido ou hidróxido, ou ainda nas Terras Pretas isso pode ter ocorrido em função dos altos teores de P existentes nesses solos, a afinidade entre o Fe<sup>3+</sup> e o H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> é alta e dessa forma a precipitação de FePO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O pode facilmente ocorrer (FERREIRA, CRUZ, 1991).

Lima (2001) relata que, a variabilidade nos atributos químicos nas diferentes áreas de Terra Preta, mostrando menores níveis de fertilidade em alguns sítios, indica que a área foi ocupada por um menor tempo, ou menor densidade populacional ou a ocorrência simultânea de uma menor população ocupando o sítio por um menor intervalo de tempo, ou ainda que a área tenha sido mais intensivamente cultivada pelas populações atuais.

**Tabela 1.** Características químicas e composição granulométrica das amostras de solos coletadas em três sítios arqueológicos, de diferentes locais no Amazonas.

Variável	Sítio Costa do Açutuba				Sítio Rio Preto da Eva				Sítio Costa do Laranjal			
	Terra Preta		Solo Adjacente		Terra Preta		Solo Adjacente		Terra Preta		Solo Adjacente	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
pH H <sub>2</sub> O (1 : 2,5)	5,77	5,18	4,74	4,48	5,36	4,99	4,72	4,67	6,09	5,62	4,74	4,48
pH KCl 1N (1 : 2,5)	4,43	4,17	4,08	3,77	4,23	4,04	4,13	3,84	5,39	4,83	4,08	3,77
P (mg kg <sup>-1</sup> )	214,40	307,35	8,84	1,54	272,72	242,93	4,61	1,94	277,03	271,16	8,84	1,54
K (mg kg <sup>-1</sup> )	39,37	15,70	14,7	8,7	20,37	6,70	18,37	11,03	82,70	41,37	14,7	8,7
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,06	2,37	0,13	0,02	2,40	0,59	0,04	0,02	8,26	4,88	0,13	0,02
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,51	0,33	0,13	0,05	0,13	0,07	0,09	0,06	1,03	0,47	0,13	0,05
C (g.kg <sup>-1</sup> )	57,92	42,33	14,34	9,60	26,17	15,59	17,12	13,78	70,74	33,97	19,77	11,69
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,15	0,50	1,37	1,52	0,73	1,60	2,03	2,17	0,01	0,01	1,37	1,52
(Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup> ) a pH 7,0 (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	6,19	6,62	5,76	4,68	4,18	5,11	2,59	6,91	8,93	8,35	5,69	6,34
S (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )**	3,67	2,74	0,30	0,09	2,58	0,68	0,18	0,11	9,50	5,46	0,30	0,09
t (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )**	3,82	3,24	1,67	1,61	3,31	2,28	2,21	2,28	9,51	5,47	1,67	1,61
T (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )**	9,86	9,36	6,06	4,77	6,76	5,79	2,77	7,02	18,43	13,81	5,99	6,45
M (%)**	0,1	0,2	82,0	94,4	22,0	70,2	91,8	95,2	0,01	0,01	82,0	94,4
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	59	61	183	244	57	64	188	198	54	62	183	244
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	15,9	12,9	0,9	0,9	16,9	16,3	1,4	1,2	17,9	13,9	0,9	0,9
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	72,9	48,3	6,9	7,6	76,9	35,6	7,9	7,6	114,3	50,3	6,9	7,6
Argila (g.kg <sup>-1</sup> )	14	14	12	14	17	16	11	17	29	31	12	14
Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	4	4	3	5	3	3	1	1	9	9	3	5
Areia (g.kg <sup>-1</sup> )	82	82	85	81	80	81	88	82	62	60	85	81

\*\* S = Ca + Mg + K; T = S + (Al<sup>3+</sup> + H<sup>+</sup>); t = S + Al<sup>3+</sup>; m = 100 x Al/(Al+S)

## **3.2 Ensaio com milho**

### **3.2.1 Desenvolvimento e conteúdo de nutrientes nas plantas de milho aos 45 dias de cultivo.**

O tipo de solo e o local afetaram significativamente o desenvolvimento e conteúdo de nutrientes de plantas de milho, avaliados pelas determinações da parte aérea e raízes secas, conforme apresentado na Tabela 2. No solo de terra preta, o desenvolvimento das plantas como um todo, foi superior ao de plantas que cresceram em solo adjacente, 5,2 e 3,6 vezes maiores para o total da matéria aérea e das raízes respectivamente. Comparativamente as diferenças entre sítios também se manifestaram e as plantas desenvolvidas em solo do município de Manacapuru superaram significativamente as dos sítios de Rio Preto da Eva e Iranduba.

Foram identificadas interações altamente significativas entre os tipos de solo e os locais pesquisados, para a matéria seca da parte aérea e das raízes de milho. Em terra preta, do sítio de Manacapuru, as plantas se desenvolveram mais na matéria seca da parte aérea que nos outros locais, e isso também foi verificado em solo adjacente. Para a matéria seca das raízes essa tendência também foi verificada, entretanto, o desenvolvimento radicular do milho não diferiu em solo adjacente nos três locais estudados.

Como pode ser verificado na Tabela 2 nos três sítios estudados a parte aérea da planta sempre foi mais desenvolvida em solo de terra preta comparado a solo adjacente. Os dados obtidos demonstraram que a matéria seca das raízes não diferiu entre terra preta e adjacente nos sítios de Iranduba e Rio Preto da Eva, mas o milho apresentou maior biomassa radicular em solo de terra preta de Manacapuru comparado ao solo adjacente.

Quanto ao conteúdo de nutrientes na matéria seca das plantas de milho aos 45 dias após o cultivo, verificou-se que não houve interações significativas para o potássio e o ferro, enquanto que, para o fósforo as interações verificadas foram a 5 % de probabilidade. Para os

elementos Ca, Mg, Zn e Mn as interações entre sítios e tipos de solo foram altamente significativas. Para a média dos elementos Ca, Mg, P e Mn as concentrações presentes na biomassa do milho foram maiores em solo de terra preta que em solo adjacente, mas para o K, Fe e Zn as concentrações em solo adjacente superaram os níveis da terra preta.

Pode ainda ser verificado na Tabela 2, maiores concentrações de Ca, Zn e Mn nas plantas de milho desenvolvidas na terra preta do Sítio Rio Preto da Eva sendo as mesmas, estatisticamente superiores às concentrações verificadas nas plantas desenvolvidas na terra preta dos demais sítios estudados. No entanto, para as plantas desenvolvidas no adjacente, as maiores concentrações de Ca e Mn foram encontradas no sítio de Manacapuru, enquanto que para as concentrações Zn verificadas neste solo, não houve diferença estática entre os sítios. Com relação ao nutriente P, a maior concentração foi verificada nas plantas de milho do sítio de Manacapuru, tanto para as plantas desenvolvidas na terra preta quanto para as desenvolvidas no adjacente, superando as concentrações de P observados nos outros sítios. Para o Mg, os sítios de Iranduba e Rio Preto da Eva apresentaram concentrações do nutriente estatisticamente superiores as observadas no sítio de Manacapuru, na terra preta, enquanto que não houve diferença estatísticas entre os sítios para as concentrações verificadas nas plantas desenvolvidas no adjacente.

De modo geral, as plantas desenvolvidas na terra preta apresentaram concentrações superiores de Ca, Mg, P e Mn quando comparadas as concentrações observadas nas plantas desenvolvidas no adjacente, nos três sítios. No entanto, a concentração de Zn foi superior, nas plantas desenvolvidas na terra preta dos sítios de Iranduba e Manacapuru, quando comparado ao adjacente destes sítios, porém não houve diferença estatística entre os solos no sítio Rio Preto da Eva.

**Tabela 2.** Efeito da interação entre sítios e o tipo de solo, na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de milho (*Zea mays* L.), aos 45 dias após o cultivo. <sup>\*1, \*2</sup>

PARÂMETROS	SOLO	LOCAL			MÉDIA	TESTE F
		SÍTIO 1	SÍTIO 2	SÍTIO 3		
Matéria seca da parte aérea (g)	Terra Preta	20,95 aB	17,18 aB	32,55 aA	23,78 a	6,45 **
	Adjacente	2,49 bB	1,47 bB	9,73 bA	4,56 b	
	Média	11,72 B	9,66 B	21,14 A		
Matéria seca da raiz (g)	Terra Preta	2,85 aB	1,76 aB	7,35 aA	3,99 a	5,42 **
	Adjacente	0,77 aA	0,75 aA	1,78 bA	1,10 b	
	Média	1,81 B	1,25 B	4,57 A		
K (g kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	26,78	23,89	23,90	24,86 b	0,34 ns
	Adjacente	33,57	32,55	29,73	31,95 a	
	Média	30,18 A	28,22 A	26,82 A		
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	7,44 aC	11,50 aA	8,80 aB	9,24 a	57,52 **
	Adjacente	4,15 bB	3,92 bB	6,79 bA	4,95 b	
	Média	5,79 B	7,71 A	7,80 A		
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	4,70 aA	3,00 aB	5,03 aA	4,24 a	14,46 **
	Adjacente	2,70 bA	2,36 bA	2,65 bA	2,57 b	
	Média	3,70 A	2,68 B	3,84 A		
P (g kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	3,27 aC	3,75 aB	4,29 aA	3,77 a	4,17 *
	Adjacente	2,33 bB	1,11 bC	3,43 bA	2,29 b	
	Média	2,80 B	2,43 C	3,86 A		
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	186,50	147,00	147,75	160,41 b	2,19 ns
	Adjacente	411,25	409,25	266,75	362,41 a	
	Média	298,87 A	278,12 AB	207,25 B		
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	42,50 bB	55,50 aA	29,75 bC	42,58 b	19,57 **
	Adjacente	53,00 aA	50,50 aA	51,00 aA	51,50 a	
	Média	47,75 B	53,00 A	40,37 C		
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	225,25 aB	278,00 aA	72,75 aC	192,00 a	418,92 **
	Adjacente	82,50 bB	46,75 bC	205,75 bA	111,66 b	
	Média	153,87 AB	162,37 A	139,25 B		

<sup>\*1</sup> - Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iranduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

<sup>\*2</sup> - Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 ou 5 % de probabilidade (P<0,01, P<0,05). ns – não significativo. As comparações entre médias foram feitas pelo teste de Tukey.

A interação dos fatores adubação e local não afetou de forma significativa desenvolvimento das plantas de milho (matéria seca da parte aérea e matéria seca da raiz), no entanto houve significância para cada fator isolado. Para o conteúdo de nutrientes verificados nas plantas de milho a interação dos fatores contribuiu de forma significativa para as concentrações de Ca, Mg, P e Mn, enquanto que para as concentrações de K, Fe e Zn não houve diferença estatística, conforme apresentado na Tabela 3.

As plantas que foram adubadas apresentaram uma média para matéria seca da parte aérea estaticamente maior quando comparadas as que não foram adubadas, para a matéria seca das raízes, as médias verificadas foram estatisticamente iguais, não havendo portanto diferença entre as plantas que receberam e a que não receberam adubação. Verificou-se interações altamente significativas para as concentrações de Ca, Mg e Mn. Para o P a interação entre os fatores adubo e local foi significativa ao nível de 5% de probabilidade.

Na tabela 3, pode ser observado que nos sítios Rio Preto da Eva e Manacapuru, maiores concentrações de Ca nas plantas de milho que não receberam adubação quando comparada as que receberam adubação, entretanto para o sítio de Iranduba, foi observada maior concentração de Ca nas plantas que receberam adubação. Com relação ao Mg, ao se comparar as plantas de milho que foram adubadas com as não adubadas, foram observadas maiores concentrações nas plantas adubadas dos sítios de Iranduba e Rio Preto da Eva, no entanto no sítio de Manacapuru não houve diferença entre as plantas. Para o P, as plantas não adubadas apresentaram maiores concentrações que as adubadas nos sítios de Rio Preto da Eva e Manacapuru enquanto no sítio de Iranduba as plantas apresentaram concentrações semelhantes. Foram observadas maiores concentrações de Mn em plantas adubadas quando comparadas a não adubadas nos três sítios.

**Tabela 3.** Efeito da interação entre sítios e de tratamentos de adubação, na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de milho (*Zea mays* L.), aos 45 dias após o cultivo. <sup>\*1, \*2</sup>

PARÂMETROS	ADUBAÇÃO	LOCAL			MÉDIA	TESTE F
		SÍTIO 1	SÍTIO 2	SÍTIO 3		
Matéria seca da parte aérea (g)	Sem Adubo	6,56	5,25	17,58	9,79 b	1,53 ns
	Com Adubo	16,88	14,08	24,70	18,55 a	
	Média	11,72 B	9,66 B	21,14 A		
Matéria seca da raiz (g)	Sem Adubo	1,82	1,07	4,90	2,60 a	0,56 ns
	Com Adubo	1,79	1,43	4,23	2,48 a	
	Média	1,81 B	1,25 B	4,57 A		
K (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	13,69	13,06	12,51	13,09 b	0,79 ns
	Com Adubo	46,66	43,38	41,13	43,72 a	
	Média	30,18 A	28,22 A	26,82 A		
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	4,93 bB	8,36 aA	8,83 aA	7,37 a	27,14 **
	Com Adubo	6,65 aA	7,06 bA	6,76 bA	6,82 b	
	Média	5,79 B	7,71 A	7,80 A		
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	3,11 bB	1,79 bC	4,06 aA	2,99 b	22,55 **
	Com Adubo	4,28 aA	3,56 aB	3,62 aB	3,82 a	
	Média	3,70 A	2,68 B	3,84 A		
P (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	2,96 aB	2,66 aB	4,39 aA	3,33 a	4,17 *
	Com Adubo	2,65 aB	2,20 bB	3,34 bA	2,73 b	
	Média	2,80 B	2,43 C	3,86 A		
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	339,00	241,00	217,50	265,83 a	2,40 ns
	Com Adubo	258,75	315,25	197,00	257,00 a	
	Média	298,87 A	278,12 AB	207,25 B		
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	36,25	41,75	32,50	36,83 b	1,84 ns
	Com Adubo	59,25	64,25	48,25	57,25 a	
	Média	47,75 B	53,00 A	40,37 C		
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	111,50 bA	115,50 bA	115,25 bA	114,08 b	6,81 **
	Com Adubo	196,25 aA	209,25 aA	163,20 aB	189,58 a	
	Média	153,87 AB	162,37 A	139,25 B		

<sup>\*\*1</sup> - Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iraduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

<sup>\*2</sup> - Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 ou 5 % de probabilidade (P<0,01, P<0,05). ns – não significativo. As comparações entre médias foram feitas pelo teste de Tukey.

A interação dos fatores solo e adubação foi favorável, ao desenvolvimento e concentração alguns nutrientes nas plantas milho, dados avaliados pela determinação da matéria seca da parte aérea, K, Ca Zn, onde foram identificadas interações altamente significativas, para o Mn a interação foi a 5% de probabilidade, no entanto para os demais parâmetros avaliados não houve contribuição significativa da interação dos fatores, como mostra a Tabela 4.

As plantas de milho que se desenvolveram na terra preta apresentaram maior matéria seca da parte aérea que as plantas desenvolvidas no adjacente, também foi observado que as plantas adubadas apresentaram maior peso seco da parte aérea que as não adubadas, tanto em terra preta quanto no adjacente. Em média as plantas desenvolvidas em terra preta apresentaram maior acúmulo de biomassa radicular que as desenvolvidas no adjacente, no entanto não houve diferença entre a média com relação à adubação.

Na Tabela 4, verifica-se que as concentrações de Ca e Mn foram maior nas plantas desenvolvidas em terra preta que no adjacente, no entanto, dentro de cada solo ocorrem diferenças com relação a adubação, em terra preta foi identificada maior concentração de Ca nas plantas de milho que foram não foram adubadas já no solo adjacente ocorreu o contrário e para o Mn tanto em terra preta quanto no adjacente as maiores concentrações do nutriente foram verificadas nas plantas adubadas. Os dados mostraram concentrações semelhantes dos nutrientes K e Zn nas plantas de milho dos solos que não foram adubados, porém maiores concentrações desses nutrientes nas plantas adubadas no adjacente. Tanto para o adjacente quanto para a terra preta foram verificadas maiores concentrações de K e Zn para as plantas adubadas.

Para os nutrientes P, Mg e Fe houve apenas diferença significativa apenas se analisando os fatores isolados portanto, em média as plantas desenvolvidas em terra preta apresentaram maiores concentrações de P e Mg quando as comparadas as desenvolvidas no

adjacente, entretanto para o Fe ocorreu o inverso. Analisando a média do fator adubação pode se inferir que não houve diferença entre as médias para o Fe, a média da concentração de Mg foi maior nas plantas adubadas e maior nas plantas não adubadas para o nutriente P.

**Tabela 4.** Efeito da interação entre o tipo de solo e de tratamentos de adubação, na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de milho (*Zea mays* L.), aos 45 dias após o cultivo.\*<sup>1</sup>

PARÂMETROS	ADUBAÇÃO	SOLO		MÉDIA	TESTE F
		TERRA PRETA	ADJACENTE		
Matéria seca da parte aérea (g)	Sem Adubo	16,30 bA	3,29 bB	9,79 b	68,88 **
	Com Adubo	31,26 aA	5,84 aB	18,55 a	
	Média	23,78 A	4,56 B		
Matéria seca da raiz (g)	Sem Adubo	4,25	0,95	2,60 a	0,50 ns
	Com Adubo	3,72	1,25	2,48 a	
	Média	3,99 A	1,10 B		
K (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	11,64 bA	14,53 bA	13,09 b	8,82 **
	Com Adubo	38,07 aB	49,37 aA	43,72 a	
	Média	24,86 B	31,95 A		
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	10,57 aA	4,18 bB	7,37 a	89,73 **
	Com Adubo	7,92 bA	5,73 aB	6,82 b	
	Média	9,24 A	4,95 B		
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	3,72	2,25	2,99 b	2,04 ns
	Com Adubo	4,76	2,89	3,82 a	
	Média	4,24 A	2,57 B		
P (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	4,12	2,55	3,33 a	0,64 ns
	Com Adubo	3,42	2,03	2,73 b	
	Média	3,77 A	2,29 B		
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	156,50	375,16	265,83 a	0,33 ns
	Com Adubo	164,33	349,66	257,00 a	
	Média	160,41 B	362,41 A		
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	39,16 bA	34,50 bA	36,83 b	62,22 **
	Com Adubo	46,00 aB	68,50 aA	57,25 a	
	Média	42,58 B	51,50 A		
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	148,16 bA	80,00 bB	114,08 b	5,15 *
	Com Adubo	235,83 aA	143,33 aB	189,58 a	
	Média	192,00 A	111,66 B		

\*<sup>1</sup> - Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 ou 5 % de probabilidade (P<0,01, P<0,05). ns – não significativo. As comparações entre médias foram feitas pelo teste de Tukey.

A interação dos fatores local, tipo de solo e adubação favoreceu de forma positiva o desenvolvimento e conteúdo de nutrientes das plantas de milho, esses dados podem ser observados na Tabela 5, onde foram identificadas interações altamente significativas para as variáveis matéria seca da parte aérea, K, Ca, Zn e Mn, enquanto que para os nutrientes Mg e Fe as interações foram significativas a 5% de probabilidade, entretanto não houve diferença estatística para as variáveis matéria seca da raiz e P.

**Tabela 5.** Dados da análise de variância e parâmetros estatísticos da interação tripla entre locais (sítios 1, 2 e 3), tipo de solo (terra preta e solo adjacente) e tratamentos de adubação (com e sem), na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de milho (*Zea mays* L.), aos 45 dias após o cultivo. <sup>\*1, \*2</sup>

VARIÁVEIS	TESTE F	COEF. VAR. (%)	DESVIO PADRÃO	MÉDIA GERAL
Matéria seca da parte aérea (g)	5,28 **	18,25	2,58	14,17
Matéria seca da raiz (g)	0,15 ns	80,55	2,05	2,54
K (g kg <sup>-1</sup> )	6,61 **	17,27	4,90	28,40
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	101,47**	10,82	0,76	7,10
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	4,65 *	14,08	0,48	3,40
P (g kg <sup>-1</sup> )	0,28 ns	12,72	0,38	3,03
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	4,44 *	38,40	100,38	261,41
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	15,75 **	12,68	5,96	47,04
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	27,75 **	12,22	18,56	151,83

<sup>\*1</sup> - Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iraduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

<sup>\*2</sup> - Significativo no nível de 1 ou 5 % de probabilidade (P<0,01, P<0,05). ns – não significativo.

Os valores de Matéria seca parte aérea ( $M_{spa}$ ) observados nos tratamentos com solo adjacente, Tabela 2, 3 e 4, são semelhantes aos encontrados por Falcão e Souza (2002). No entanto as plantas de milho, cultivadas nos tratamentos de terra preta com adubação, neste estudo, apresentaram  $M_{spa}$  bem mais expressivos que os encontrados no trabalho citado.

Segundo alguns autores, o milho necessita e absorve maiores quantidades de potássio na fase inicial (0-40 dias) da cultura, (MALAVOLTA et al., 1974; VITTI, FAVARIN, 2002). O crescimento triplicado das plantas nos tratamentos com adubação, pode ser explicada então, pelos requerimentos nutricionais do milho, que foi avaliado na fase inicial da cultura, uma vez que nas terras pretas e solos adjacentes foram verificados teores considerados de médio a baixo de potássio, portanto, esses solos foram considerados deficientes em potássio, limitando o crescimento das plantas de milho e ocasionando assim menor  $M_{spa}$ , porém nos tratamentos com adubação essa deficiência foi suprida resultando em maior acúmulo de matéria seca.

Vale ressaltar ainda que a adubação foi com omissão de fósforo, o que também pode ter comprometido o crescimento das plantas, nos tratamentos com solo adjacente, uma vez que os mesmos apresentaram deficiência de fósforo.

Os maiores valores de  $M_{spa}$ , serem observados nos tratamentos com Terra Preta, eram esperados uma vez que esses solos apresentam níveis elevados de nutrientes que são essenciais para as plantas, porém a surpresa veio dos tratamentos com Terra Preta com adubação, pois apresentaram um  $M_{spa}$  superior aos tratamentos com terra preta sem adubação, permitindo observar que, apesar das Terras Pretas apresentarem níveis elevados de nutrientes no solo, existem carências que precisam ser supridas para que se tenha os resultados desejados com relação ao produtividade, além disso, outro fator importante, a ser observado é a cultura com que se está trabalhando, é necessário que se tenha conhecimento

das exigências nutricionais da mesma.

Ao se avaliar os níveis adequados de cálcio nas plantas de milho, foi observado que os tratamentos com Terra Preta, apresentaram concentrações adequadas ou superiores às adequadas, de acordo com os critérios adotados por Raij e Cantarella, (1996), porém nos tratamentos com Solo Adjacente sem adubação, as concentrações encontradas foram inferiores a adequada, no entanto os tratamentos Solo Adjacente que receberam adubação, apresentaram concentrações adequadas de Ca nas plantas (Tabela 2, 3 e 4).

As concentrações de potássio observadas nas plantas de milho foram as seguintes, os tratamentos que não receberam adubação, apresentaram concentrações de potássio inferiores à considerada adequada, porém nos tratamentos com adubação, as concentrações observadas foram superior à considerada adequadas. Após a análise das concentrações de cálcio e potássio nas plantas de milho observa-se uma interação negativa entre o cálcio e potássio, concordando assim com os trabalhos de Malavolta (1974) e Malavolta (1989) onde foi verificado que a absorção de cálcio diminui mediante presença de potássio, (Tabela 2, 3 e 4).

Todas as plantas, cultivadas em tratamentos com Terra Preta, apresentaram concentrações de fósforo adequadas ou superiores às adequadas, isso pode indicar que os elevados teores de fósforo encontrados nestes solos, estavam prontamente biodisponível para as plantas e foram prontamente absorvidos. Nos tratamentos com Solo Adjacente, a maioria das plantas apresentou concentrações inferior à considerada adequada, que apresentara concentrações adequadas de fósforo, (Tabela 2, 3 e 4).

Nota-se uma fato importante ao se observar os tratamentos, que não foram adubados, as concentrações de P encontradas nas plantas destes tratamentos foram de adequadas a superior à adequada, porém nos tratamentos que receberam adubação, com omissão de fósforo, as concentrações de P observadas nas plantas foram inferior a adequada nos tratamentos com solos adjacentes e adequado nos tratamentos com Terras Pretas, ocorrendo

uma redução na absorção de P nos tratamentos que receberam adubação o que indica que houve reação do fósforo no solo com outros nutrientes adicionados através da adubação, reduzindo a absorção deste nutriente pelas plantas, (Tabela 2, 3 e 4).

Levando em consideração as concentrações adequadas de micronutrientes nas plantas de milho, (RAIJ, CANTARELLA, 1996), e as concentrações encontradas nos tratamentos, foi observado que todas as plantas apresentaram concentrações adequadas ou superior a adequada, de Ferro, Zinco e Manganês, o que indica a adubação não influenciou a absorção dos micronutrientes, (Tabelas 2, 3 e 4).

### **3.2.2 Características químicas dos solos após o plantio do milho**

Após o plantio do milho foi realizada uma análise estatística. Os dados referentes a análise foram apresentados na Tabela 6. Através da interação dos fatores tipos de solo e locais, foi detectado variação da fertilidade do solo, mensurada por vários atributos químicos. As terras pretas apresentaram valores superiores de pH (H<sub>2</sub>O) e pH (KCl), o que caracteriza menor acidez ativa, que o adjacente. Houve também, diferença entre os sítios, a acidez ativa foi menor no sítio de Manacapuru superando estatisticamente os sítios de Iranduba e Rio Preto da Eva. A acidez potencial verificada em solo adjacente foi superior a do solo de terra preta. Comparando a acidez potencial dos sítios, verificou-se que o valor encontrado no sítio Rio Preto da Eva foi estatisticamente superior aos encontrados nos outros sítios.

Na Tabela 6, foram observadas interações altamente significativas entre os tipos de solo e locais estudados para os atributos químicos referente a acidez do solo, pH(H<sub>2</sub>O), pH(KCl) e acidez potencial. A terra preta do sítio de Manacapuru apresentou maior pH(H<sub>2</sub>O) e pH(KCl) que os demais sítios, o maior pH(H<sub>2</sub>O) em solo adjacente foi encontrado no sítio Rio Preto da Eva e o maior pH(KCl) encontrou-se no solo adjacente do sítio de Manacapuru.

Com relação a acidez potencial, foi verificado maior valor na terra preta do sítio Rio Preto da Eva, porém no solo adjacente a maior acidez potencial foi encontrada no sítio de Manacapuru.

Foram detectados teores de nutrientes estatisticamente diferentes na interação entre o tipo de solo e os locais pesquisados, observados na Tabela 6. No solo de terra preta foram encontrados teores superiores de Ca, Mg, P, Zn e Mn comparados aos teores encontrados no solo adjacente, porém para os teores de K e Fe ocorreu o contrário. No que se refere aos teores de nutrientes nos diferentes sítios, foi observado maior teor de Ca, Mg, P, Zn e Mn no sítio de Manacapuru sendo superior aos teores encontrados nos sítios de Iranduba e Rio Preto da Eva, no entanto o maior teor de Fe foi observado no sítio do Rio Preto da Eva, e ainda, para K foram verificados teores semelhantes para os três sítios.

A interação entre os fatores tipos de solo e locais foi altamente significativa para todos os nutrientes avaliados, com exceção do K para o qual não houve diferença significativa. Os maiores teores de Ca, Mg, P, Zn e Mn foram detectados no solo de terra preta do sítio de Manacapuru, ocorreram também os maiores teores desses nutrientes no solo adjacente do mesmo sítio. Para o Fe não houve diferença estatística entre as terras pretas dos três diferentes sítios, porém no solo adjacente, o maior teor de Fe foi encontrado no sítio do Rio Preto da Eva, (Tabela 6).

**Tabela 6.** Efeito da interação entre sítios e do tipo de solo, nos atributos químicos do solo, após 45 dias do cultivo de milho (*Zea mays* L).<sup>\*1, \*2</sup>

ATRIBUTOS QUÍMICOS	SOLO	LOCAL			MÉDIA	TESTE F
		SÍTIO 1	SÍTIO 2	SÍTIO 3		
pH (H <sub>2</sub> O)	Terra Preta	5,20 aB	4,86 aC	5,63 aA	5,23 a	14,52 **
	Adjacente	4,26 bB	4,58 bA	4,47 bAB	4,44 b	
	Média	4,73 B	4,72B	5,05 A		
pH (KCl)	Terra Preta	4,54 aB	4,21aC	5,21 aA	4,65 a	116,11 **
	Adjacente	3,78 bC	3,90 bB	4,23 bA	3,97 b	
	Média	4,16 B	4,05 C	4,72 A		
Acidez potencial (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	4,74 aB	6,89 aA	4,00 aC	5,21 b	444,17 **
	Adjacente	4,90 aB	5,00 bB	7,10 bA	5,67 a	
	Média	4,82 C	5,95 A	5,55 B		
K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	0,09	0,07	0,08	0,08 b	2,29 ns
	Adjacente	0,30	0,34	0,22	0,31 a	
	Média	0,23 A	0,21 A	0,15 A		
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	3,19 aB	2,07 aC	8,39 a A	4,55 a	204,31 **
	Adjacente	0,64 bB	0,43 bB	2,40 bA	1,16 b	
	Média	1,91 B	1,25 C	5,40 A		
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	0,47 aB	0,16 bC	0,93 aA	0,52 a	10,84 **
	Adjacente	0,36 bB	0,29 aB	0,70 bA	0,45 b	
	Média	0,41 B	0,23 C	0,81 A		
P (mg kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	104,30 aB	126,46 aB	172,80 aA	134,52 a	23,97 **
	Adjacente	9,89 bB	4,77 bB	36,12 bA	16,93 b	
	Média	57,09 C	65,61 B	104,46 A		
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	27,82 bA	34,21 bA	27,70 bA	29,91 b	52,88 **
	Adjacente	186,37 aB	233,70 aA	123,70 aC	181,25 a	
	Média	107,10 B	133,95 A	75,70 C		
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	6,32 aB	4,36 aC	8,40 aA	6,36 a	35,60 **
	Adjacente	0,71 bB	0,62 bB	3,98 bA	1,77 b	
	Média	3,51 B	2,49 C	6,19 A		
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	107,30 aB	93,55 aC	134,42 aA	111,75 a	6,76 **
	Adjacente	2,40 bB	1,75 bB	29,00 bA	11,05 b	
	Média	54,85 B	47,65 C	81,71 A		

\*1 - Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Irlanduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva e; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

\*2 - Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 % de probabilidade (P<0,01). ns – não significativo. As comparações entre médias foram feitas pelo teste de Tukey.

Na interação dos fatores locais e tratamentos de adubação, os dados analisados mostraram resultados não significativos para a maioria das variáveis analisadas o que mostra que a adubação não influenciou de forma positiva a fertilidade do solo dos diferentes sítios, (Tabela 7). Apenas para os atributos pH(KCl), Mg, P e Mn a interação dos fatores mostrou resultados altamente significativos.

O sítio Manacapuru apresentou níveis de pH(H<sub>2</sub>O), pH(KCl), Ca, Mg, P, Zn e Mn superiores aos verificados nos demais sítios. No entanto para o nutriente K não houve diferença estatística entre os sítios estudados. O Sítio do Rio Preto da Eva foi superior aos demais sítios com relação às variáveis Acidez Potencial e Fe (Tabela 7).

Foram verificados, maior pH(H<sub>2</sub>O) e Acidez potencial, maiores níveis de P, Fe, Zn e Mn nos tratamentos sem adubação sendo estatisticamente superiores aos verificados nos tratamentos com adubação. Entretanto para os atributos químicos Ca, Mg e K foi observado um comportamento diferente, os tratamentos com adubação apresentaram níveis significativos em relação aos encontrados nos tratamentos sem adubação (Tabela 7).

**Tabela 7.** Efeito da interação entre sítios e de tratamentos de adubação, nos atributos químicos do solo, após 45 dias do cultivo de milho (*Zea mays* L). <sup>\*1, \*2</sup>

ATRIBUTOS QUÍMICOS	ADUBAÇÃO	LOCAL			MÉDIA	TESTE F
		SÍTIO 1	SÍTIO 2	SÍTIO 3		
pH (H <sub>2</sub> O)	Sem Adubo	4,90	4,96	5,16	5,00 a	1,12 ns
	Com Adubo	4,56	4,49	4,95	4,66 b	
	Média	4,73 B	4,72 B	5,05 A		
pH (KCl)	Sem Adubo	4,09 bB	4,02 bB	4,78 aA	4,30 a	17,04 **
	Com Adubo	4,22 aB	4,09 aC	4,66 bA	4,32 a	
	Média	4,16 B	4,05 C	4,72 A		
Acidez potencial (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	5,00	6,12	5,75	5,62 a	0,04 ns
	Com Adubo	4,64	5,77	5,35	5,25 b	
	Média	4,82 C	5,95 A	5,55 B		
K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	0,05	0,04	0,05	0,04 b	2,61 ns
	Com Adubo	0,41	0,37	0,25	0,34 a	
	Média	0,23 A	0,21 A	0,15 A		
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	1,58	0,91	5,15	2,54 b	0,39 ns
	Com Adubo	2,25	1,59	5,65	3,16 a	
	Média	1,91 B	1,25 C	5,40 A		
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	0,22 bB	0,11 bB	0,79 aA	0,37 b	9,32 **
	Com Adubo	0,61 aB	0,34 aC	0,84 aA	0,60 a	
	Média	0,41 B	0,23 C	0,81 A		
P (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	101,46 aC	123,21 aB	181,29 aA	134,52 a	55,68 **
	Com Adubo	12,73 bB	8,02 bB	27,63 bA	16,93 b	
	Média	57,09 C	65,61 B	104,46 A		
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	118,83	137,72	84,95	113,83 a	1,29 ns
	Com Adubo	95,36	130,18	66,45	97,33 b	
	Média	107,10 B	133,95 A	75,70 C		
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	3,73	2,97	6,56	4,42 a	2,73 ns
	Com Adubo	3,30	2,01	5,82	3,71 b	
	Média	3,51 B	2,49 C	6,19 A		
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	61,73 aB	59,46 Ab	96,83 aA	72,67 a	7,79 **
	Com Adubo	47,96 bB	35,83 Bc	66,58 bA	50,12 b	
	Média	54,85 B	47,65 C	81,71 A		

<sup>\*1</sup> - Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Irlanduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

<sup>\*2</sup> - Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 % de probabilidade (P<0,01). ns – não significativo. As comparações entre médias foram feitas pelo teste de Tukey.

A fertilidade do solo foi afetada positivamente pela interação dos fatores tipos de solo e tratamentos de adubação, onde foram verificados resultados altamente significativos para sete atributos químicos entre os dez avaliados. A interação foi significativa a probabilidade de 5% para o  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  e não significativa para Acidez potencial e Mg, conforme mostra a Tabela 8.

Para as variáveis  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ , K e Fe no solo de terra preta não houve diferença estatística para os tratamentos de adubação. Entretanto as variáveis comportaram-se de forma contrária no solo adjacente. O  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  e o Fe foram superiores nos tratamentos sem adubo enquanto que o K foi superior no tratamento com adubo. Para os tratamentos com e sem adubo, foi observado maior valor de  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  no solo de terra preta, valores estes superiores aos observados em solo adjacente, já o Fe se comportou de forma adversa ao  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ , onde os valores encontrados no solo adjacente foram superiores aos verificados no solo de terra preta tanto no tratamento sem adubo como no com adubo. Para o K, no entanto, não houve diferença entre os solos quando foi observado o tratamento sem adubo, porém, no tratamento com adubo o solo adjacente apresentou nível superior com relação ao observado no solo de terra preta (Tabela 8).

O comportamento das variáveis  $\text{pH}(\text{KCl})$  e Ca se deu da seguinte forma: nos solos de terra preta foram encontrados níveis superiores destas variáveis nos tratamentos com adubação, enquanto que nos solos adjacentes o  $\text{pH}(\text{KCl})$  foi superior no tratamento sem adubo e o Ca, da mesma forma que no solo de terra preta apresentou nível superior no tratamento com adubação. Na comparação entre os solos, foram observados valores maiores de  $\text{pH}(\text{KCl})$  e Ca na terra preta tanto nos tratamentos sem adubo como nos com adubo superando estatisticamente os observados no solo Adjacente (Tabela 8).

Com relação ao P, Zn e Mn, foi observado que nos solos de terra preta os tratamentos sem adubo apresentaram níveis superiores aos verificados nos tratamentos com adubo, porém

nos solos adjacentes não houve diferença entre os tratamentos com e sem adubo para os níveis observados desses nutrientes. No solo de terra preta foi observado um nível de P quatorze vezes maior no tratamento sem adubo que o apresentado pelo mesmo tratamento no solo adjacente, no entanto essa diferença some quando se analisa o tratamento com adubo no qual não diferença entre os solo. O Zn e o Mn mostraram o mesmo comportamento com respeito aos tratamentos de adubação que apresentaram níveis superiores destes nutrientes no solo de terra preta quando comparados aos observados em solo adjacente, é o que mostra a tabela 8.

Ainda observando a Tabela 8, de maneira geral, o solo de terra preta apresentou valores superiores de pH(H<sub>2</sub>O), pH (KCl), Ca, Mg, P, Z e Mn quando comparados aos valores encontrados nos solos adjacente, que superou a terra preta somente em Acidez potencial, K e Fe. Em se tratando dos tratamentos com e sem adubo, é possível observar que valores superiores de pH(H<sub>2</sub>O), Acidez potencial, P, Fe, Zn e Mn foram encontrados nos tratamentos sem adubo, e K, Ca, Mg apresentaram valores superiores nos tratamentos com adubo, enquanto que para o pH(KCl) não houve diferença.

**Tabela 8.** Efeito da interação entre o tipo de solo e de tratamentos de adubação, nos atributos químicos do solo, após 45 dias do cultivo de milho (*Zea mays* L).<sup>\*1</sup>

ATRIBUTOS QUÍMICOS	ADUBAÇÃO	SOLO		MÉDIA	TESTE F
		TERRA PRETA	ADJACENTE		
pH (H <sub>2</sub> O)	Sem Adubo	5,32 aA	4,68 aB	5,00 a	4,48 *
	Com Adubo	5,13 aA	4,19 bB	4,66 b	
	Média	5,23 A	4,44 B		
pH (KCl)	Sem Adubo	4,58 bA	4,01 aB	4,32 a	34,54 **
	Com Adubo	4,72 aA	3,93 bB	4,30 a	
	Média	4,65 A	3,97 B		
Acidez potencial (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	5,40	5,85	5,62 a	0,01 ns
	Com Adubo	5,02	5,49	5,25 b	
	Média	5,21 B	5,67 A		
K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	0,05 aA	0,03 bA	0,04 b	71,67 **
	Com Adubo	0,10 aB	0,59 aA	0,34 a	
	Média	0,08 B	0,31 A		
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	4,38 bA	0,71 bB	2,54 b	9,15 **
	Com Adubo	4,72 aA	1,61 aB	3,16 a	
	Média	4,55 A	1,16 B		
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	0,39	0,36	0,37 b	1,51 ns
	Com Adubo	0,65	0,54	0,60 a	
	Média	0,52 A	0,45 B		
P (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	252,83 aA	17,81 aB	135,32 a	2159,68 **
	Com Adubo	16,21 bA	16,04 aA	16,13 b	
	Média	134,52 A	16,93 B		
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	32,44 aB	195,23 aA	113,83 a	7,65 **
	Com Adubo	27,38 aB	167,28 bA	97,33 b	
	Média	29,21 B	181,25 A		
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	7,17 aA	1,67 aB	4,42 a	98,61 **
	Com Adubo	5,55 bA	1,87 aB	3,71 b	
	Média	6,36 A	1,77 B		
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	134,03 aA	11,32 aB	72,67 a	164,77 **
	Com Adubo	89,48 bA	10,77 aB	50,12 b	
	Média	111,75 A	11,05 B		

\*1 - Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 ou 5 % de probabilidade (P<0,01, P<0,05). As comparações entre médias foram feitas pelo teste de Tukey.

A tabela 9, mostra o resultado da interação entre três fatores analisados, são eles locais, tipo de solo e tratamentos de adubação. Os resultados mostraram que a interação dos fatores influenciou de forma significativa a fertilidade do solo após o plantio do milho. O teste F, foi altamente significativo para as variáveis pH(KCl), Acidez potencial, Mg, P, Zn e Mn, foi ainda significativo a probabilidade de 5% para a variável Ca e não significativo para pH(H<sub>2</sub>O), K e Fe.

**Tabela 9.** Dados da análise de variância e parâmetros estatísticos da interação tripla entre locais (sítios 1, 2 e 3), tipo de solo (terra preta e solo adjacente) e tratamentos de adubação (com e sem), nos atributos químicos do solo, após 45 dias de cultivo do milho (*Zea mays* L.). \*<sup>1</sup>, \*<sup>2</sup>

<b>ATRIBUTOS QUÍMICOS</b>	<b>TESTE F</b>	<b>COEF. VAR. (%)</b>	<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>MÉDIA GERAL</b>
pH (H <sub>2</sub> O)	0,18 ns	4,98	0,24	4,83
pH em (KCl)	14,30 **	1,47	0,06	4,31
Acidez potencial (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	6,61 **	4,36	0,23	5,44
K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,87 ns	52,18	0,10	0,19
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,14 *	11,23	0,32	2,85
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	13,17 **	23,21	0,11	0,49
P (mg kg <sup>-1</sup> )	46,05 **	11,55	8,75	75,72
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	1,94 ns	13,57	14,33	105,58
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	6,02 **	7,82	0,31	4,06
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	3,59 **	9,66	5,93	61,40

\*<sup>1</sup> - Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iraduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

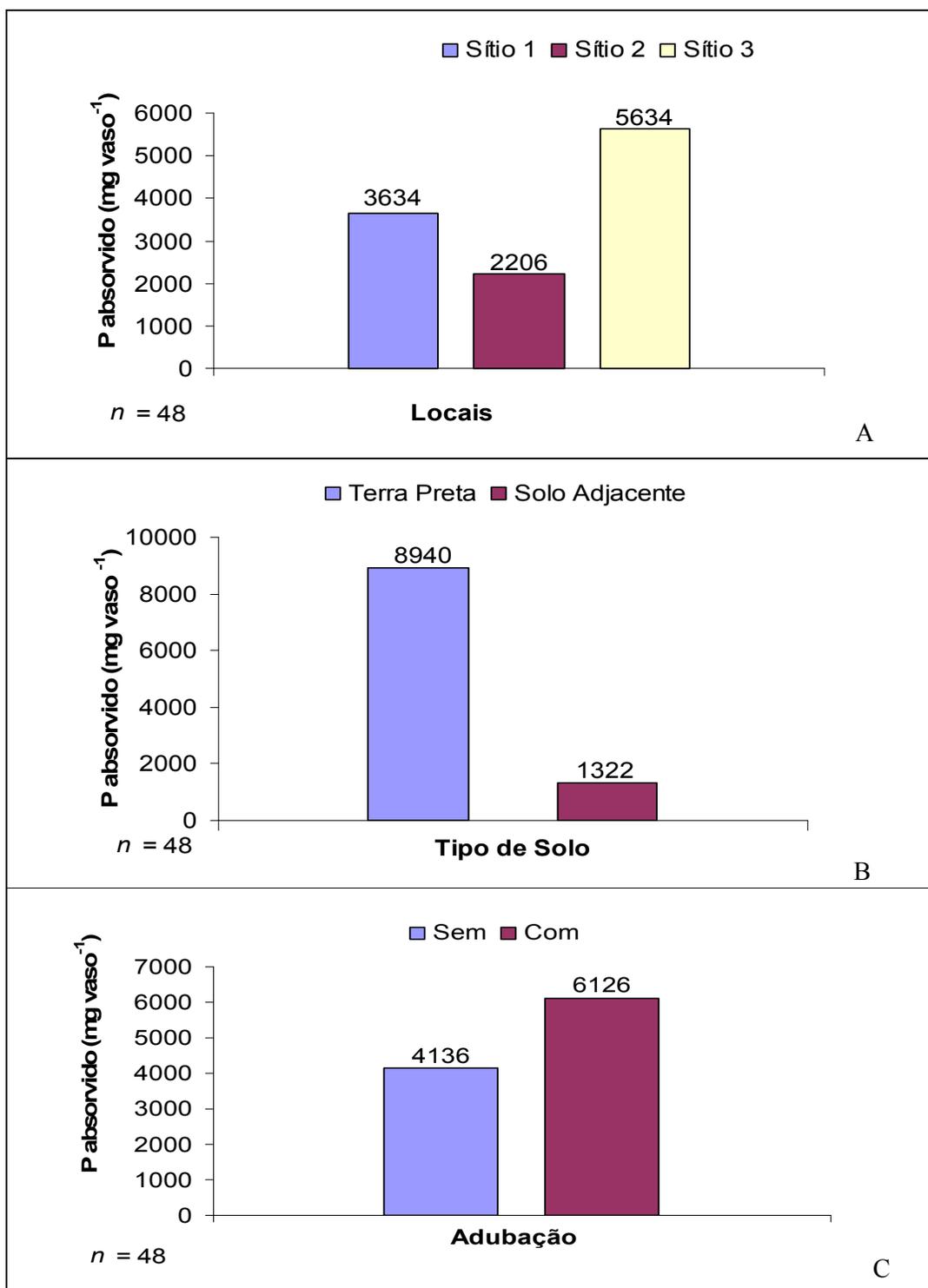
\*<sup>2</sup> - Significativo no nível de 1 ou 5 % de probabilidade (P<0,01, P<0,05). ns – não significativo.

Na figura 9, pode ser observada a absorção do P pelas plantas de milho, em três diferentes situações, representadas pelas letras A, B e C.

Na letra A da figura, é possível observar a absorção do P pelas plantas de milho em três sítios distintos, nota-se então que houve uma maior absorção pelas plantas do Sítio de Manacapurul, levando em consideração que a análise do solo do sítio mostrou níveis maiores de P, bem como de outros nutrientes, provavelmente haja uma maior disponibilidade dos mesmos às plantas o que facilita a absorção.

Na letra B, foi observado o comportamento das plantas em relação aos diferentes tipos de solo, nota-se então que houve uma absorção em média seis vezes maior, nas plantas cultivadas no solo de terra preta, que as cultivadas no solo adjacente, também é provável que essa maior absorção se deva ao fato que os níveis de P encontrados nos solos de terra preta, nos três sítios, foi muito superior ao detectado nos solos adjacentes.

A letra C da figura mostra o contraste entre as plantas desenvolvidas nos tratamentos sem e com adubo, onde a absorção foi maior nas plantas dos tratamentos com adubo, apesar de não ter ocorrido uma diferença muito acentuada, pode-se dizer que as plantas estavam melhor nutrida, permitindo assim o seu melhor desenvolvimento e por conseguindo uma maior absorção para suprir as suas necessidades.



**Figura 9.** Efeito do fósforo absorvido na parte aérea de plantas de milho (*Zea mays* L.) em três sítios (A), dois tipos de solo (B), com e sem adubação (C).<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> - Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iranduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva e; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

O  $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$  variou de 4,07 a 5,69 nos tratamentos com Terra Preta e de 3,99 a 5,08 nos tratamentos com Solo Adjacente, o que mostra uma acidez ativa, nos solos estudados, considerada de média a elevada. Nos Sítios de Iranduba e Manacapuru, tratamentos com Terra Preta, apresentaram acidez ativa média, já os tratamentos com Solo Adjacente, destes sítios, apresentaram acidez ativa elevada. No Sítio Rio Preto da Eva, a acidez ativa elevada, (Tabelas 6 e 7).

A acidez Potencial variou de 3,69 a 6,89  $\text{cmol}_c.\text{Kg}^{-1}$  nas Terras pretas e de 4,60 a 7,18  $\text{cmol}_c.\text{Kg}^{-1}$  nos Solos Adjacentes. De acordo com os critérios adotados por Cochrane (1984), o Sítio do Iranduba, apresentou acidez média na maioria dos tratamentos, no Sítio Rio Preto da Eva apresentou acidez potencial alta. No Sítio de Manacapuru, a acidez potencial média nos tratamentos de terra preta e alta acidez potencial nos solos adjacente, (Tabela 6 e 7).

Analisando os teores de fósforo encontrados nos solos, verificou-se que, os tratamentos com Terra Preta, sem adubação apresentaram maiores teores deste elemento, que os tratamentos que foram adubados, mostrando que a adubação provocou uma reação química do P com os nutrientes adicionados pela mesma, imobilizando e tornando-o menos disponível no solo, (Tabela 8).

Com relação ao potássio, a maioria dos tratamentos apresentou baixo teor, porém, nos tratamentos com Solo adjacente que foram adubados o teor de potássio encontrado foi médio, já nos tratamentos com Terra Preta, apesar de os teores encontrados serem baixos, nota-se, nos tratamentos que recebam adubação, um pequeno aumento do teor de potássio disponível no solo, o que permite perceber a influência da adubação nos tratamentos. Para o cálcio, todos os tratamentos com Terra Preta, apresentaram valores considerados de médio a alto, e os tratamentos com Solo Adjacente, apresentaram teor baixo nos tratamentos sem adubação e médio nos tratamentos com adubação. De modo geral a adubação aumentou a disponibilidade das bases trocáveis dos solos em questão, (Tabela 6, 7 e 8).

É possível notar ainda que nos tratamentos com adubação os teores de ferro foram menores que nos tratamentos sem adubação, mostrando mais uma vez que a se adicionar a adubação ocorreram reações químicas entre os nutrientes, (Tabela 8).

### **3.3 Ensaio com feijão caupi**

#### **3.3.1 Matéria seca e acúmulo de nutrientes nas plantas de caupi**

O tipo de solo e o local afetaram significativamente o desenvolvimento e conteúdo de nutrientes de plantas de feijão caupi, avaliados pelas determinações da parte aérea e raízes secas, conforme apresentado na Tabela 10. No solo de terra preta, o desenvolvimento das plantas como um todo, foi superior ao de plantas que cresceram em solo adjacente. Comparativamente as diferenças entre sítios também se manifestaram e as plantas desenvolvidas em solo do município de Manacapuru superaram significativamente as dos sítios de Rio Preto da Eva e Iranduba.

A interação entre os tipos de solo e os locais pesquisados foi altamente significativa, para a matéria seca da parte aérea de feijão caupi, no entanto para matéria seca das raízes a interação dos fatores não foi significativa. Em solo adjacente, no sítio de Manacapuru, as plantas se desenvolveram mais na matéria seca da parte aérea que nos outros locais, o que não ocorreu no solo de terra preta onde o desenvolvimento foi semelhante nos três sítios estudados.

Na Tabela 10, foi verificado que nos três sítios estudados a parte aérea da planta sempre foi mais desenvolvida em solo de terra preta comparado a solo adjacente. Os dados obtidos demonstraram que para a matéria seca das raízes o comportamento foi contrário ao da parte aérea, onde o maior crescimento radicular foi em solo adjacente. O sítio de Manacapuru apresentou matéria seca da parte aérea de feijão caupi superior aos demais sítios. No entanto para matéria seca da raiz não houve diferença entre os sítios estudados.

Quanto ao conteúdo de nutrientes na matéria seca das plantas de feijão caupi aos 45 dias após o cultivo, verificou-se que não houve interações significativas para o zinco e o ferro. Para os elementos K, Ca, Mg, P e Mn as interações entre locais e tipos de solo foram altamente significativas. Para a média dos elementos Ca, Mg e P as concentrações presentes

na biomassa de feijão caupi foram maiores em solo de terra preta que em solo adjacente, mas para o K e Zn as concentrações em solo adjacente superaram os níveis da terra preta.

Pode ainda ser verificado na Tabela 10, que não houve diferença nas concentrações de K e P, nas plantas de feijão caupi desenvolvidas em terra preta dos três sítios, entretanto para as plantas desenvolvidas em solo adjacente as concentrações de K foram superiores nos sítios de Iranduba e Rio Preto da Eva e para o P as maiores concentrações foram nos sítios de Iranduba e Manacapuru. Com relação as concentrações de Ca nas plantas de feijão caupi desenvolvidas em terra preta, no Sítio de Manacapuru foi verificada a maior média porém não houve diferença estatística quando comparadas aos demais sítios estudados. No entanto, para as plantas desenvolvidas no solo adjacente, a maior concentração de Ca foi encontrada no sítio de Manacapuru. Nos sítios de Iranduba e Manacapuru, foram encontradas concentrações de Mg estatisticamente superiores as verificadas no sítio do Rio Preto da Eva, tanto para as plantas desenvolvidas no solo de terra preta, quanto para as desenvolvidas em solo adjacente. Para o Mn, os sítios de Rio Preto da Eva apresentou concentração do nutriente estatisticamente superiores as observadas no sítio de Iranduba e Manacapuru, na terra preta, enquanto que para o solo adjacente o sítio de Manacapuru apresentou concentração do nutriente estatisticamente superior aos demais sítios.

Olhando as diferenças entre as plantas desenvolvidas em terra preta e solo adjacente dos diferentes sítios, pode-se afirmar que as concentrações de P verificadas em terra preta foram estatisticamente superiores as encontradas em solo adjacente nos três sítios estudados, já para os demais nutrientes houve uma variação nas concentrações encontradas. Para o K, o resultado averiguado foi contrário do que aconteceu para o P, os solos adjacentes apresentaram concentrações superiores do nutriente quando comparadas às concentrações em terra preta para os três sítios.

**Tabela 10.** Efeito da interação entre sítios e o tipo de solo, na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), aos 45 dias após o cultivo. <sup>\*1, \*2</sup>

PARÂMETROS	SOLO	LOCAL			MÉDIA	TESTE F
		SÍTIO 1	SÍTIO 2	SÍTIO 3		
Matéria seca da parte aérea (g)	Terra Preta	6,31 aB	6,79 aAB	8,04 aA	7,05 a	12,55 **
	Adjacente	4,12 bB	1,42 bC	6,41 bA	3,98 b	
	Média	5,22 B	4,10 C	7,23 A		
Matéria seca da raiz (g)	Terra Preta	0,55	1,10	0,78	0,81 b	1,45 ns
	Adjacente	1,20	3,08	1,34	1,87 a	
	Média	0,87 B	2,09 A	1,06 AB		
K (g kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	9,67 bA	7,64 bA	7,89 bA	8,40 b	12,38 **
	Adjacente	36,42 aA	36,12 aA	22,73 aB	31,76 a	
	Média	23,04 A	21,88 A	15,31 B		
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	21,04 aB	23,23 aAB	26,23 aA	23,50 a	31,12 **
	Adjacente	13,18 bB	5,86 bC	27,65 aA	15,57 b	
	Média	17,11 B	14,55 B	26,94 A		
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	8,05 aA	4,21 aB	9,28 aA	7,18 a	13,69 **
	Adjacente	7,30 aA	5,14 aB	6,47 bA	6,30 b	
	Média	7,67 A	4,67 B	7,88 A		
P (g kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	4,65 aA	4,29 aA	4,63 aA	4,52 a	7,47 **
	Adjacente	1,47 bA	0,41 bB	1,99 bA	1,29 b	
	Média	3,06 A	2,35 B	3,31 A		
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	428,50	542,25	299,00	423,25 a	1,20 ns
	Adjacente	378,00	220,75	318,25	296,19 a	
	Média	403,25 A	381,50 A	294,37 A		
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	72,5	65,00	59,25	65,58 a	1,23 ns
	Adjacente	65,75	51,87	57,25	58,29 b	
	Média	69,12 A	58,43 B	58,25 B		
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	302,50 aB	854,50 aA	93,25 bC	416,75 a	248,61 **
	Adjacente	264,25 aB	122,25 bC	842,50 aA	409,66 a	
	Média	283,37 B	488,37 A	467,87 A		

<sup>\*\*\*1</sup> - Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iranduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva e; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

<sup>\*2</sup> - Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 % de probabilidade (P<0,01). ns – não significativo. As comparações entre médias foram feitas pelo teste de Tukey.

Ao observar a Tabela 11, pode-se notar que a interação dos fatores adubação e local, não influenciou de forma significativa o desenvolvimento das plantas de feijão caupi (matéria seca da parte aérea e matéria seca da raiz), porém ao observar os fatores isolados, nota-se que os resultados foram significante. Para o conteúdo de nutrientes verificados nas plantas de feijão caupi a interação dos fatores mostrou-se significativa apenas para o K, Mg e P, enquanto que para os demais nutrientes não houve diferença estatística na interação dos fatores estudados.

As plantas de feijão caupi que foram adubadas apresentaram uma média para matéria seca da parte aérea estaticamente maior quando comparadas as que não foram adubadas, para a matéria seca das raízes, as médias verificadas foram estatisticamente iguais, não havendo portanto diferença entre as plantas que receberam e as que não receberam adubação. Verificou-se interações altamente significativas para as concentrações de K, Mg e P.

Na tabela 11, pode ser observado que nos três sítios estudados, as plantas adubadas apresentaram maiores concentrações de K que as que plantas de feijão caupi que não receberam adubação, porém as plantas dos tratamentos adubados do sítio do Iranduba apresentaram médias de concentração de K superiores às verificadas nos demais sítios considerando as plantas adubadas. No entanto para as plantas que foram adubadas, foram observadas as maiores concentrações de K no sítio Rio Preto da Eva. Com relação ao Mg, ao se comparar as plantas de feijão caupi que foram adubadas com as não adubadas, foram observadas maiores concentrações nas plantas não adubadas no sítio do Iranduba, nos demais sítios não houve diferença entre os tratamentos de adubação. Para o P, as plantas não adubadas apresentaram maiores concentrações que as adubadas nos três sítios, sendo que as maiores médias foram observadas no sítio do Iranduba, entretanto para os tratamentos adubados não houve diferença estatísticas para as concentrações de P nas plantas dos três sítios estudados.

**Tabela 11.** Efeito da interação entre sítios e de tratamentos de adubação, na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), aos 45 dias após o cultivo. <sup>\*1, \*2</sup>

PARÂMETROS	ADUBAÇÃO	LOCAL			MÉDIA	TESTE F
		SÍTIO 1	SÍTIO 2	SÍTIO 3		
Matéria seca da parte aérea (g)	Sem Adubo	4,50	3,39	5,91	4,60 b	1,52 ns
	Com Adubo	5,93	4,81	8,54	6,43 a	
	Média	5,22 B	4,10 C	7,23 A		
Matéria seca da raiz (g)	Sem Adubo	0,71	1,83	0,89	1,14 a	0,03 ns
	Com Adubo	1,04	2,36	1,23	1,54 a	
	Média	0,87 B	2,09 A	1,06 AB		
K (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	9,98 bB	17,80 bA	7,28 bB	11,69 b	18,20 **
	Com Adubo	36,11 aA	25,96 aB	23,34 aB	28,47 a	
	Média	23,04 A	21,88 A	15,31 B		
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	17,67	15,9	25,86	19,82 a	2,20 ns
	Com Adubo	16,55	13,19	28,02	19,25 a	
	Média	17,11 B	14,55 B	26,94 A		
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	8,80 aA	4,37 aB	7,67 aA	6,95 a	10,02 **
	Com Adubo	6,54 bB	4,97 aC	8,08 aA	6,53 a	
	Média	7,67 A	4,67 B	7,88 A		
P (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	4,17 aB	2,96 aC	4,84 aA	3,99 a	16,67 **
	Com Adubo	1,95 bA	1,75 bA	1,78 bA	1,82 b	
	Média	3,06 A	2,35 B	3,31 A		
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	368,50	472,25	276,75	372,50 a	0,77 ns
	Com Adubo	438,00	290,75	312,00	346,91 a	
	Média	403,25 A	381,50 A	294,37 A		
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	80,00	70,75	67,50	72,75 a	0,37 ns
	Com Adubo	58,50	46,12	49,00	51,12 b	
	Média	69,12 A	58,43 B	58,25 B		
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	322,75	554,50	551,25	476,16 a	0,88 ns
	Com Adubo	244,00	522,25	384,50	350,25 b	
	Média	283,37 B	488,37 A	467,87 A		

<sup>\*1</sup> - Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iranduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva e; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

<sup>\*2</sup> - Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si no nível de 1% de probabilidade (P<0,01). ns – não significativo. As comparações entre médias foram feitas pelo teste de Tukey.

A interação dos fatores solo e adubação não foi favorável, ao desenvolvimento das plantas feijão caupi, os dados avaliados pela determinação da matéria seca da parte aérea e

matéria seca da raiz não foram estatisticamente significantes. Para as concentrações de K, Mg e Zn a interação dos fatores foi altamente significativo e para o P a interação foi significativa a 5% de probabilidade, no entanto, para as concentrações dos demais nutrientes não houve contribuição significativa da interação dos fatores, como mostra a Tabela 12.

As plantas de feijão caupi que se desenvolveram na terra preta apresentaram maior matéria seca da parte aérea que as plantas desenvolvidas no adjacente, também foi observado que as plantas adubadas apresentaram maior peso seco da parte aérea que as não adubadas. Em média as plantas desenvolvidas em solo adjacente apresentaram maior acúmulo de biomassa radicular que as desenvolvidas na terra preta, no entanto não houve diferença entre a média com relação à adubação (Tabela 12).

As concentrações de K foram maiores nas plantas de feijão caupi desenvolvidas em solo adjacente, no entanto, dentro de cada solo foram verificadas maiores concentrações de K nas plantas adubadas. Ocorreram diferenças entre tratamentos de adubação, com relação as concentrações de Mg e Zn, em terra preta não houve diferença estatística entre tratamentos, já no solo adjacente as maiores concentrações de Mg e Zn foram encontradas nas plantas não adubadas, foi verificada ainda diferença estatística para plantas adubadas em terra preta que apresentaram concentrações superiores de Mg e Zn quando comparadas as plantas adubadas em solo adjacente. Os dados mostraram maior concentração de P, nas plantas de feijão caupi que não receberam adubo tanto no solo de terra preta quanto no solo adjacente, porém as concentração verificadas em solo de terra preta, com e sem adubação, foram superiores às observadas em solo adjacente.

Para os nutrientes Ca e Fe houve diferença significativa apenas se analisando os fatores isolados, portanto, em média as plantas desenvolvidas em terra preta apresentaram maiores concentrações desses nutrientes quando as comparadas as desenvolvidas no adjacente.

**Tabela 12.** Efeito da interação entre o tipo de solo e de tratamentos de adubação, na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), aos 45 dias após o cultivo.<sup>\*1</sup>

PARÂMETROS	ADUBAÇÃO	SOLO		MÉDIA	TESTE F
		TERRA PRETA	ADJACENTE		
Matéria seca da parte aérea (g)	Sem Adubo	6,02	3,18	4,60 b	0,48 ns
	Com Adubo	8,07	4,78	6,43 a	
	Média	7,05 A	3,98 B		
Matéria seca da raiz (g)	Sem Adubo	0,68	1,60	1,14 a	0,13 ns
	Com Adubo	0,94	2,14	1,54 a	
	Média	0,81 B	1,87 A		
K (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	6,04 bB	17,33 bA	11,69 b	98,07 **
	Com Adubo	10,76 aB	46,18 aA	28,47 a	
	Média	8,40 B	31,76 A		
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	23,99	15,64	19,82 a	0,19 ns
	Com Adubo	23,00	15,50	19,25 a	
	Média	23,50 A	15,57 B		
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	6,80 aA	7,09 aA	6,95 a	15,95 **
	Com Adubo	7,55 aA	5,51 bB	6,53 a	
	Média	7,18 A	6,30 B		
P (g kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	5,44 aA	2,54 aB	3,99 a	6,22 *
	Com Adubo	3,61 bA	0,04 bB	1,82 b	
	Média	4,52A	1,29B		
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	460,16	284,83	372,50 a	0,29 ns
	Com Adubo	386,33	307,50	346,91 a	
	Média	423,25 A	296,16 A		
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	70,33 aA	75,16 aA	72,75 a	17,43 **
	Com Adubo	60,83 bA	41,41 bB	51,12 b	
	Média	65,58 A	58,29 B		
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	485,00	467,33	476,16 a	0,15 ns
	Com Adubo	348,50	352,00	350,25 b	
	Média	416,75 A	409,66 A		

<sup>\*1</sup> - Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 ou 5 % de probabilidade (P<0,01, P<0,05). ns – não significativo. As comparações entre médias foram feitas pelo teste de Tukey.

A interação dos fatores local, tipo de solo e adubação favoreceu de forma positiva o conteúdo de nutrientes das plantas feijão caupi, esses dados podem ser observados na Tabela 13, onde foram identificadas interações altamente significativas para as variáveis K, Ca, P, Zn e Mn, enquanto que para os demais parâmetros avaliados não houve diferença estatística.

**Tabela 13.** Dados da análise de variância e parâmetros estatísticos da interação tripla entre locais (sítios 1, 2 e 3), tipo de solo (terra preta e solo adjacente) e tratamentos de adubação (com e sem), na produção de biomassa e conteúdo de nutrientes na parte aérea seca e peso das raízes secas de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), aos 45 dias após o cultivo. <sup>\*1, 2\*</sup>

VARIÁVEIS	TESTE F	COEF. VAR. (%)	DESVIO PADRÃO	MÉDIA GERAL
Matéria seca da parte aérea (g)	1,24 ns	20,64	1,13	5,51
Matéria seca da raiz (g)	0,54 ns	98,46	1,32	1,34
K (g kg <sup>-1</sup> )	10,74 **	21,02	4,22	20,08
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	8,85 **	17,21	3,36	19,53
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	0,24 ns	15,00	1,01	6,74
P (g kg <sup>-1</sup> )	8,73 **	15,57	0,45	2,91
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	1,32 ns	85,92	309,08	359,70
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	5,25 **	16,24	10,05	61,93
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	7,82 **	22,75	94,02	413,20

<sup>\*1</sup> - Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iranduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva e; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

<sup>\*2</sup> - Significativo no nível de 1 % de probabilidade (P<0,01). ns – não significativo.

De acordo com Oliveira e Dantas, (1988), todas as plantas cultivadas nos tratamentos com Terra Preta apresentaram concentrações de fósforo superiores ao nível adequado de fósforo na planta, no entanto observa-se valores menores de fósforo nas planta dos tratamentos com adubação, (Tabelas 10, 11 e 12).

As concentrações de magnésio observadas nas plantas de feijão foram superior a concentração considerada adequada, em todos os tratamentos. Comparando-se as concentrações de Fe observadas nas plantas cultivadas e a concentração adequada do nutriente nas plantas de feijão caupi, verificou-se baixos níveis do nutriente e a maioria das plantas mostrou deficiência em Fe (Tabela 10, 11 e 12).

### **3.3.2 Características químicas dos solos após o plantio feijão caupi**

Após o plantio do feijão caupi foi realizada uma análise química do solo, em seguida os dados coletados foram analisados estatisticamente e apresentados na Tabela 14.

A interação dos fatores tipos de solo e local, mostrou uma variação na fertilidade do solo, que foi evidenciada por vários atributos químicos. As terras pretas apresentaram valores superiores de pH (H<sub>2</sub>O) e pH (KCl), o que caracteriza menor acidez ativa, que o adjacente. Houve também, diferença entre os sítios, a acidez ativa foi menor no sítio de Manacapuru superando estatisticamente os sítios de Iranduba e Rio Preto da Eva. A acidez potencial verificada em solo adjacente foi superior a do solo de terra preta. Comparando a acidez potencial dos sítios, verificou-se que o valor encontrado no sítio Manacapuru foi estatisticamente superior aos encontrados nos outros sítios, indicando que o solo desse sítio é menos ácido que os demais. A interação entre os fatores tipos de solo e locais foi altamente significativa para todos os nutrientes avaliados, com exceção dos nutrientes Zn e Mn para os quais não houve diferença significativa

Na Tabela 14, foram observadas interações altamente significativas entre os tipos de solo e locais estudados para os atributos químicos referente a acidez do solo,  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ ,  $\text{pH}(\text{KCl})$  e acidez potencial. A terra preta do sítio de Manacapuru apresentou maior  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  e  $\text{pH}(\text{KCl})$  que os demais sítios, o maior  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  em solo adjacente foi encontrado no sítio Rio Preto da Eva e o maior  $\text{pH}(\text{KCl})$  encontrou-se no solo adjacente do sítio de Manacapuru. Com relação a acidez potencial, foi verificado maior valor na terra preta do sítio Rio Preto da Eva, porém no solo adjacente a maior acidez potencial foi encontrada no sítio de Manacapuru.

Foram detectados teores de nutrientes estatisticamente diferentes na interação entre o tipo de solo e os locais pesquisados, observados na Tabela 14. No solo de terra preta foram encontrados teores superiores de Ca, Mg e P, comparados aos teores encontrados no solo adjacente, porém para os teores de K e Fe ocorreu o contrário. No que se refere aos teores de nutrientes nos diferentes sítios, foi observado maior teor de Ca, Mg e P no sítio de Manacapuru sendo superior aos teores encontrados nos sítios de Iranduba e Rio Preto da Eva,

Os maiores teores de Ca, Mg e P, foram detectados no solo de terra preta do sítio de Manacapuru, ocorreram também os maiores teores desses nutrientes no solo adjacente do mesmo sítio. Para K e Fe não houve diferença estatística entre as terras pretas dos três diferentes sítios, porém no solo adjacente, o teor de K foi maior no sítio do Rio Preto da Eva e o maior teor de Fe foi verificado nos sítios do Iranduba e Rio Preto da Eva, sendo superiores ao teor verificado no sítio de Manacapuru (Tabela 14).

**Tabela 14.** Efeito da interação entre sítios e o tipo de solo, nos atributos químicos do solo, após 45 dias do cultivo de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). <sup>\*1, \*2</sup>

ATRIBUTOS QUÍMICOS	SOLO	LOCAL			MÉDIA	TESTE F
		SÍTIO 1	SÍTIO 2	SÍTIO 3		
pH (H <sub>2</sub> O)	Terra Preta	5,24 aB	5,13 aB	5,76 aA	5,37 a	9,12 **
	Adjacente	4,36 bA	4,16 bB	4,47 bA	4,33 b	
	Média	4,80 B	4,64 C	5,11 A		
pH (KCl)	Terra Preta	4,59 aB	4,38 aC	5,36 aA	4,78 a	234,06 **
	Adjacente	3,84 bC	3,92 bB	4,00 bA	3,92 b	
	Média	4,22 B	4,15 C	4,68 A		
Acidez potencial (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	5,13 aB	8,38 aA	3,96 bC	5,82 a	176,34 **
	Adjacente	4,72 aB	4,97 bB	6,33 aA	5,34 b	
	Média	4,93 B	6,67 A	5,15 B		
K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	0,06 aA	0,05 bA	0,06 aA	0,06 b	6,35 **
	Adjacente	0,19 aB	0,39 aA	0,08 aB	0,22 a	
	Média	0,12 AB	0,22 A	0,07 B		
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	2,02 aB	1,88 aB	5,69 aA	3,20 a	41,42 **
	Adjacente	0,61 bB	0,59 bB	2,18 bA	1,12 b	
	Média	1,31 B	1,23 B	3,94 A		
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	0,39 aB	0,13 bC	0,78 aA	0,43 a	25,78 **
	Adjacente	0,30 aA	0,26 aA	0,33 bA	0,30 b	
	Média	0,34 B	0,20 C	0,56 A		
P (mg kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	118,76 aB	124,63 aB	199,84 aA	147,74 a	18,23 **
	Adjacente	7,84 bB	5,41 bB	37,14 bA	16,80 b	
	Média	63,30 B	65,02 B	118,49 A		
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	25,83 bA	28,92 bA	25,05 bA	26,60 b	180,18 **
	Adjacente	141,65 aA	145,15 aA	62,27 aB	116,35 a	
	Média	83,74 A	87,03 A	43,66 B		
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	21,50	17,66	20,40	19,85 a	1,85 ns
	Adjacente	1,10	0,95	4,65	2,23 b	
	Média	11,30 AB	9,30 B	12,52 A		
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Terra Preta	69,11	72,27	100,76	80,71 a	0,32 ns
	Adjacente	1,71	1,33	28,30	10,45 b	
	Média	35,41 B	36,80 B	64,53 A		

<sup>\*1</sup> - Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iranduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva e; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

<sup>\*2</sup> - Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si no nível de 1% de probabilidade (P<0,01). ns – não significativo. As comparações entre médias foram feitas pelo teste de Tukey.

Na interação dos fatores locais e tratamentos de adubação, os dados analisados mostraram variação na fertilidade do solo dos diferentes sítios (Tabela 15). A análise estatística mostrou que a interação dos fatores foi altamente significativa para os atributos pH(H<sub>2</sub>O), Ca, e Mn enquanto que, para os atributos pH(KCl), K, Fe e Zn interação dos fatores foi significativa ao nível de 5% de probabilidade. Os resultados analisados para Acidez potencial, P e Mg, não foram significativos.

O sítio de Manacapuru apresentou níveis de pH(H<sub>2</sub>O), pH(KCl), Ca, Mg, P, Zn e Mn superiores aos verificados nos demais sítios. A acidez potencial, os teores de K e Fe verificados no sítio do Rio Preto da Eva, foram superiores aos encontrados nos demais sítios (Tabela 15).

Foram verificados, maior pH(H<sub>2</sub>O) e Acidez potencial, maiores níveis de P, Fe, Zn e Mn nos tratamentos sem adubação sendo estatisticamente superiores aos verificados nos tratamentos com adubação. Entretanto para os atributos químicos Ca, Mg e K foi observado um comportamento diferente, os tratamentos com adubação apresentaram níveis significativos em relação aos encontrados nos tratamentos sem adubação. (Tabela 15).

**Tabela 15.** Efeito da interação entre sítios e de tratamentos de adubação, nos atributos químicos do solo, após 45 dias do cultivo de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.).<sup>\*1, \*2</sup>

ATRIBUTOS QUÍMICOS	ADUBAÇÃO	LOCAL			MÉDIA	TESTE F
		SÍTIO 1	SÍTIO 2	SÍTIO 3		
pH (H <sub>2</sub> O)	Sem Adubo	4,82 aB	4,58 aC	5,23 aA	4,88 a	5,64 **
	Com Adubo	4,78 aB	4,70 aB	5,00 bA	4,83 a	
	Média	4,80 B	4,64 C	5,11 A		
pH (KCl)	Sem Adubo	4,11 bB	4,03 bC	4,62 bA	4,25 b	4,75 *
	Com Adubo	4,32 aB	4,27 aB	4,74 aA	4,44 a	
	Média	4,22 B	4,15 C	4,68 A		
Acidez Potencial (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	5,25	7,10	5,29	5,88 a	1,71 ns
	Com Adubo	4,60	6,24	5,00	5,28 b	
	Média	4,93 B	6,67 A	5,15 B		
K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	0,06 aA	0,08 bA	0,07 aA	0,07 b	4,02 *
	Com Adubo	0,19 aB	0,36 aA	0,08 aB	0,21 a	
	Média	0,12 AB	0,22 A	0,07 B		
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	0,86 bB	0,67 bB	2,89 bA	1,47 b	10,52 **
	Com Adubo	1,77 aB	1,79 aB	4,98 aA	2,85 a	
	Média	1,31 B	1,23 B	3,94 A		
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	0,18	0,07	0,41	0,22 b	0,35 ns
	Com Adubo	0,51	0,32	0,70	0,51 a	
	Média	0,34 B	0,20 C	0,56 A		
P (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	73,84	76,86	121,62	90,78 a	2,08 ns
	Com Adubo	52,76	53,18	115,36	73,77 b	
	Média	63,30 B	65,02 B	118,49 A		
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	83,42 aA	86,05 aA	48,80 aB	72,75 a	3,93 *
	Com Adubo	84,06 aA	88,02 aA	38,52 bB	70,20 a	
	Média	83,74 A	87,03 A	43,66 B		
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	13,70 aB	15,41 aAB	18,25 aA	15,78 a	5,11 *
	Com Adubo	8,90 bA	3,20 bB	6,80 bAB	6,30 b	
	Média	11,30 AB	9,30 B	12,52 A		
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	33,10 aB	43,27 aB	71,93 aA	49,43 a	5,51 **
	Com Adubo	37,72 aB	30,33 bB	57,12 bA	41,72 b	
	Média	35,41 B	36,80 B	64,53 A		

<sup>\*1</sup> - Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iranduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva e; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

<sup>\*2</sup> - Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 ou 5 % de probabilidade (P<0,01, P<0,05). ns – não significativo. As comparações entre médias foram feitas pelo teste de Tukey.

A fertilidade do solo apresentou variação diante a interação dos fatores tipos de solo e tratamentos de adubação, onde foram verificados resultados altamente significativos para sete atributos químicos entre os dez avaliados. A interação foi significativa a probabilidade de 5% para o Mg e não significativa para pH(H<sub>2</sub>O), pH(KCl) e Acidez potencial, conforme mostra a Tabela 16.

Para a variável K no solo de terra preta não houve diferença estatística para os tratamentos de adubação. Entretanto a variável comportou-se de forma contrária no solo adjacente, onde o teor de K foi superior no tratamento com adubo. No entanto, não houve diferença entre terra preta e solo adjacente quando foi observado o tratamento sem adubo, porém, no tratamento com adubo o solo adjacente apresentou nível superior com relação ao observado no solo de terra preta (Tabela 16).

A variação de Ca na interação dos fatores se deu da seguinte forma: no solo de terra preta foram encontrado níveis superiores de Ca, nos tratamentos com adubação e sem adubação, quando comparados a esses tratamentos em solo adjacentes, porém a terra preta adubada e o solo adjacente adubado apresentaram concentrações superiores de Ca, quando comparados e esses solos sem adubação. Não houve variação significativa, entre os solos com adubação, nos teores de Mg, porém a terra preta sem adubo, apresentou maior de nível de Mg que o solo adjacente sem adubo e nos dois solos, foram verificados maiores níveis de Mg, nos tratamentos com adubo (Tabela 16).

Com relação ao P, Zn e Mn, foi observado que nos solos de terra preta os tratamentos sem adubo apresentaram níveis superiores aos verificados nos tratamentos com adubo, porém nos solos adjacentes não houve diferença entre os tratamentos com e sem adubo para os níveis observados desses nutrientes. No solo de terra preta foi observado um nível de P dez vezes maior no tratamento sem adubo que o apresentado pelo mesmo tratamento no solo adjacente (Tabela 16).

**Tabela 16.** Efeito da interação entre o tipo de solo e de tratamentos de adubação, nos atributos químicos do solo, após 45 dias do cultivo de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.).<sup>\*1</sup>

ATRIBUTOS QUÍMICOS	ADUBAÇÃO	SOLO		MÉDIA	TESTE F
		TERRA PRETA	ADJACENTE		
pH (H <sub>2</sub> O)	Sem Adubo	5,40	4,35	4,88 a	0,01 ns
	Com Adubo	5,35	4,31	4,83 a	
	Média	5,37 A	4,33 B		
pH (KCl)	Sem Adubo	4,69	3,82	4,25 b	0,52 ns
	Com Adubo	4,87	4,02	4,44 a	
	Média	4,78 A	3,92 B		
Acidez potencial (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	6,16	5,60	5,88 a	1,71 ns
	Com Adubo	5,49	5,07	5,28 b	
	Média	5,82 A	5,34 B		
K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	0,05 aA	0,09 bA	0,07 b	10,76 **
	Com Adubo	0,06 aB	0,35 aA	0,21 a	
	Média	0,06 B	0,22 A		
Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	2,18 bA	0,77 bB	1,47 b	34,47 **
	Com Adubo	4,21 aA	1,48 aB	2,82 a	
	Média	3,20 A	1,12 B		
Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	0,33 bA	0,11 bB	0,22 b	7,09 *
	Com Adubo	0,53 aA	0,49 aA	0,51 a	
	Média	0,43 A	0,30 B		
P (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	165,87 aA	15,68 aB	90,78 a	26,19 **
	Com Adubo	129,62 bA	17,91 aB	73,77 b	
	Média	147,74 A	16,80 B		
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	22,58 bB	122,93 aA	72,75	29,32 **
	Com Adubo	30,62 aB	109,78 bA	70,20	
	Média	26,60 B	116,35 A		
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	29,05 aA	2,52 aB	15,78 a	73,21 **
	Com Adubo	10,65 bA	1,94 aB	6,30 b	
	Média	19,85 A	2,23 B		
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Sem Adubo	89,60 aA	9,27 aB	49,43 a	14,55 **
	Com Adubo	71,83 bA	11,62 aB	41,72 b	
	Média	80,71 A	10,45 B		

\*1 - Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si no nível de 1 ou 5 % de probabilidade (P<0,01, P<0,05). ns – não significativo. As comparações entre médias foram feitas pelo teste de Tukey.

A tabela 17, mostra o resultado da interação entre três fatores analisados, são eles locais, tipo de solo e tratamentos de adubação. Os resultados mostraram que a interação dos fatores influenciou de forma significativa a fertilidade do solo após o plantio de feijão caupi. O teste F, foi altamente significativo para as variáveis pH(H<sub>2</sub>O), pH(KCl), Ca, Fe, Zn e Mn, foi ainda significativo a probabilidade de 5% para a variável K e não significativo para, Acidez potencial, Mg e P.

**Tabela 17.** Dados da análise de variância e parâmetros estatísticos da interação tripla entre locais (sítios 1, 2 e 3), tipo de solo (terra preta e solo adjacente) e tratamentos de adubação (com e sem), nos atributos químicos do solo após 45 dias de cultivo feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.).

<b>ATRIBUTOS QUÍMICOS</b>	<b>TESTE F</b>	<b>COEF. VAR.(%)</b>	<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>MÉDIA GERAL</b>
pH (H <sub>2</sub> O)	7,42 **	3,01	0,14	4,85
pH (KCl)	5,65 **	1,37	0,06	4,35
Acidez Potencial (cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	0,04 ns	7,79	0,43	5,58
K (cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	4,90 *	91,91	0,13	0,14
Ca (cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	16,72 **	17,86	0,38	2,16
Mg (cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	0,89 ns	31,28	0,11	0,36
P (mg.Kg <sup>-1</sup> )	0,58 ns	15,83	13,02	82,27
Fe (mg.Kg <sup>-1</sup> )	8,48 **	9,48	6,77	71,48
Zn (mg.Kg <sup>-1</sup> )	5,36 **	32,64	3,60	11,04
Mn (mg.Kg <sup>-1</sup> )	5,81 **	20,03	9,13	45,58

<sup>\*1</sup> - Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iraduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva e; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

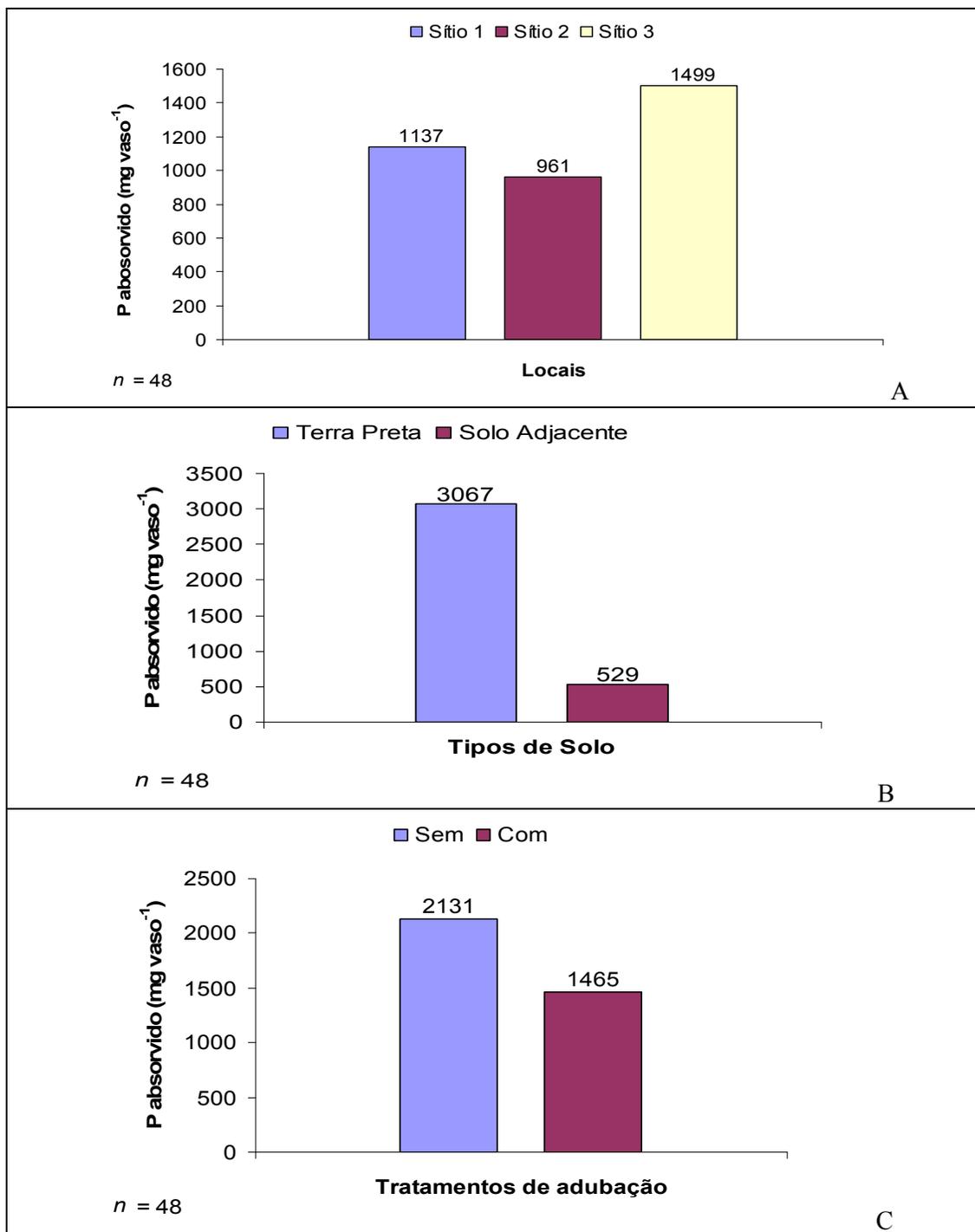
<sup>\*2</sup> - Significativo no nível de 1 ou 5 % de probabilidade (P<0,01, P<0,05). ns – não significativo.

Na figura 10, pode ser observada a absorção do P pelas plantas de feijão caupi, em três situações, representadas pelas letras A, B e C.

Na letra A da figura, é possível observar a como se deu a absorção do P pelas plantas de feijão caupi nos três diferentes sítios, nota-se então que houve uma maior absorção pelas plantas do Sítio de Manacapuru, levando em consideração que a análise do solo do sítio mostrou níveis maiores de P, bem como de outros nutrientes, provavelmente haja uma maior disponibilidade dos mesmos às plantas o que facilitando assim a absorção.

Na letra B, foi observado o comportamento das plantas em relação aos diferentes tipos de solo, nota-se então que houve uma absorção em média cinco vezes maior, nas plantas cultivadas no solo de terra preta, que as cultivadas no solo adjacente, também é provável que essa maior absorção se deva ao fato que os níveis de P encontrados nos solos de terra preta, nos três sítios, terem sido muito superior ao detectado nos solos adjacentes.

A letra C da figura mostra o contraste entre as plantas desenvolvidas nos tratamentos sem e com adubo, onde a absorção foi maior nas plantas dos tratamentos sem adubo, apesar de não ter ocorrido uma diferença muito acentuada, pode-se dizer que as plantas de feijão caupi são mais rústicas e associam-se a microorganismos que ajudam na sua nutrição, permitindo assim o seu melhor desenvolvimento e por conseguindo uma maior absorção para suprir as suas necessidades.



**Figura 10.** Efeito do fósforo absorvido na parte aérea de plantas de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) em três sítios (A), dois tipos de solo (B), com e sem adubação (C).<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iranduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva, e; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

Nos tratamentos com Solo Adjacente, a acidez ativa considerada foi elevada em todos os tratamentos com solo adjacente, e acidez média nos tratamentos com Terra Preta. A acidez Potencial.

Analisando-se os teores de fósforo encontrados no solo após o cultivo do feijão caupi, os tratamentos com Terra Preta, em todos os sítios, apresentaram teores muito altos de fósforo no solo, tanto pelos critérios de Cochrane (1984), quanto pelos critérios da Quinta aproximação. Foi observado também maior teor de fósforo nos tratamentos de Terra Preta, sem adubação, que nos de Terra Preta, com adubação, porém, embora o teor de fósforo nos tratamentos com adubação tenha sido menor, essa redução não foi tão acentuada como a que ocorreu nos mesmos tratamentos após o plantio do milho, mostrando que os fósforo que foi imobilizado por reações ocorridos por causa da adição da adubação no primeiro plantio, tornou-se novamente disponível aumentando assim o fósforo disponível no solo no segundo plantio.

### **3.4 Fracionamento do Fósforo no solo**

#### **3.4.1 Fracionamento do Fósforo no solo antes dos plantios**

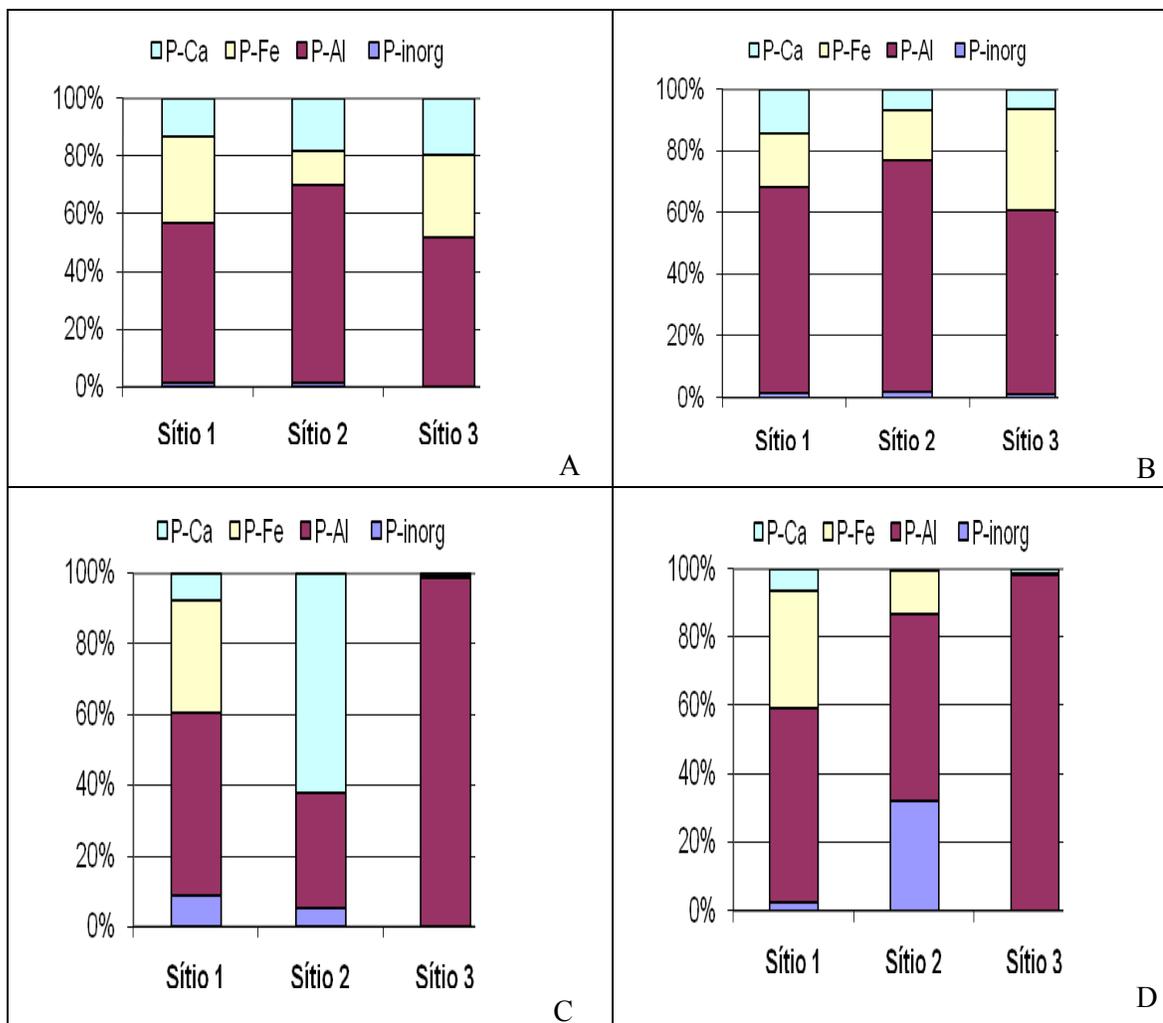
No fracionamento do fósforo dos tratamentos com Terra Preta, na camada 0-20, foi observado um predomínio de P-Al (fósforo ligado a alumínio) no estoque de fósforo dos três sítios estudados. Os tratamentos que apresentaram maior porcentagem de P-Al foram os com Terra Preta do sítio Rio Preto da Eva (TPRP) com 70% do estoque de fósforo, na Terra Preta do sítio Costa do Açutuba (TPCA) foi de 60% e na Terra Preta do sítio Costa do Laranjal (TPCL) a porcentagem de P-Al foi de 50%. O tratamento que apresentou maior porcentagem de P-Fe (fósforo ligado a ferro) foi o TPCL com aproximadamente 30%, seguido do TPCA com cerca de 25% e finalmente o TPRP com 10%. Os tratamentos TPRP e TPCL apresentaram quantidades semelhantes de P-Ca (fósforo ligado a cálcio), apenas 20% do estoque de fósforo nos solos destes sítios foi de P-Ca, o tratamento TPCA apresentou somente 15% de P-Ca, (Figura 11, A).

Nos tratamentos com Terra Preta, na camada 20-40, observou-se um comportamento semelhante ao que ocorreu na camada 0-20, havendo predomínio, nas frações de fósforo do P-Al, seguido do P-Fe e apenas uma quantidade reduzida de P-Ca. No tratamento com TPRP, cerca de 80% do estoque do fósforo foi de P-Al, maior percentual observado entre os tratamentos nessa camada, no tratamento TPCA o percentual foi de 65% e no TPCL 60%. Com relação ao P-Fe o maior percentual foi observado no tratamento TPCL chegando a 35%, no tratamento TPCA o percentual foi de 20% e no tratamento TPRP 15%. Entre os tratamentos, o que apresentou mais P-Ca foi o TPCA 15%, nos tratamentos TPRP e TPCL foi observado apenas 5% de P-Ca, no estoque de fósforo do solo, (Figura 11, B).

Nos tratamentos com Solo Adjacente, na camada 0-20, foi observado um comportamento diversificado em cada sítio. No Solo Adjacente da Costa do Laranjal (SACL), houve um domínio total de P-Al, chegando a atingir quase 100% do estoque de fósforo no

solo. No Solo Adjacente do Rio Preto da Eva (SARP), o maior percentual foi de P-Ca atingindo cerca 60% do estoque de fósforo, 35% de P-Al, 5% de P-inorgânico em solução, não ocorrendo P-Fe no tratamento. No Solo Adjacente da Costa do Açutuba (SACA) o estoque de fósforo apresentou as seguintes frações, 55% de P-Al, 35% de P-Fe, 5% de P-Ca e 5% de P-inorgânico em solução, (Figura 11, C).

Nos tratamentos com Solo Adjacente, camada 20-40, os tratamentos SACL e SACA apresentaram estoque de fósforo semelhante ao da camada 0-20, ocorrendo no SACL quase 100% de P-Al e no SACA, 60% de P-Al, 35% de P-Fe e 5% de P-Ca, no entanto o tratamento SARP, ao contrario do que ocorreu na camada 0-20, não houve presença de P-Ca apresentando, porém 15% de P-Fe, a maior porcentagem foi de P-Al, 50% o restante, 35% foi de P-inorgânico em solução, (Figura 11, D).



**Figura 11.** Caracterização do estoque de fósforo no solo, dos sítios 1, 2 e 3, em terra preta camadas 0-20 (A) e 20-40 (B), e solo adjacente camadas 0-20 (C) e 20-40 (D).<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iranduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva, e; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

### 3.4.2 Fracionamento do Fósforo no solo, após o do plantio milho

Observou-se no fracionamento do fósforo, nas Terras Pretas, camada 0-20, sem adubação, que a maior fração encontrada foi de P-Al, ultrapassando 50% do estoque de fósforo do solo em todos os tratamentos, essa fração corresponde a aproximadamente 60% no tratamento TPCA, 70% no tratamento TPRP e 65% no tratamento TPCL. As frações de P-Fe e de P-Ca sofreram variações entre os tratamentos, no TPCA foi observado que 30% do estoque do fósforo era de P-Fe, 8% de P-Ca e 2% de P-inorgânico em solução, sendo o P-Fe a segunda maior fração observada neste tratamento. No entanto no tratamento TPRP o P-Ca representou cerca de 20% do estoque de fósforo no solo, sendo a segunda maior fração neste tratamento, o P-Fe participou apenas com 10% do estoque. No tratamento TPCL as frações de P-Ca e de P-Fe apresentaram-se de forma equilibrada correspondendo à cerca de 15% cada uma, e ainda houve presença de 2% de P-inorgânico em solução, (Figura 12, A).

Para os tratamentos com Terra Preta, 0-20, que receberam adubação, as frações de fósforo apresentaram-se de forma semelhante a dos tratamentos sem adubação, sendo, portanto o P-Al a maior fração observada nos três tratamentos. No tratamento TPRP ocorreram algumas alterações, a fração de P-Al aumentou em 10%, passando de 70% no tratamento sem adubação para 80% no tratamento com adubação. O P-Ca que no tratamento sem adubação representava 20%, sofreu uma redução em 50% passando a representar 10% do estoque de fósforo no tratamento com adubação, apenas a fração P-Fe permaneceu igual ao tratamento sem adubação. No TPCA e TPCL não houve mudanças entre os tratamentos com e sem adubação, (Figura 12, B).

Na camada 20-40 dos tratamentos com Terra Preta, a fração P-Al, também, foi a maior fração verificada no estoque de fósforo, tanto nos tratamentos sem adubação como nos com adubação (Figura 12, C e D). No TPCA, 20-40, sem adubação o estoque do fósforo foi representado por 70% de P-Al, 20% de P-Fe e 10% de P-Ca. No TPRP, 20-40, sem adubação,

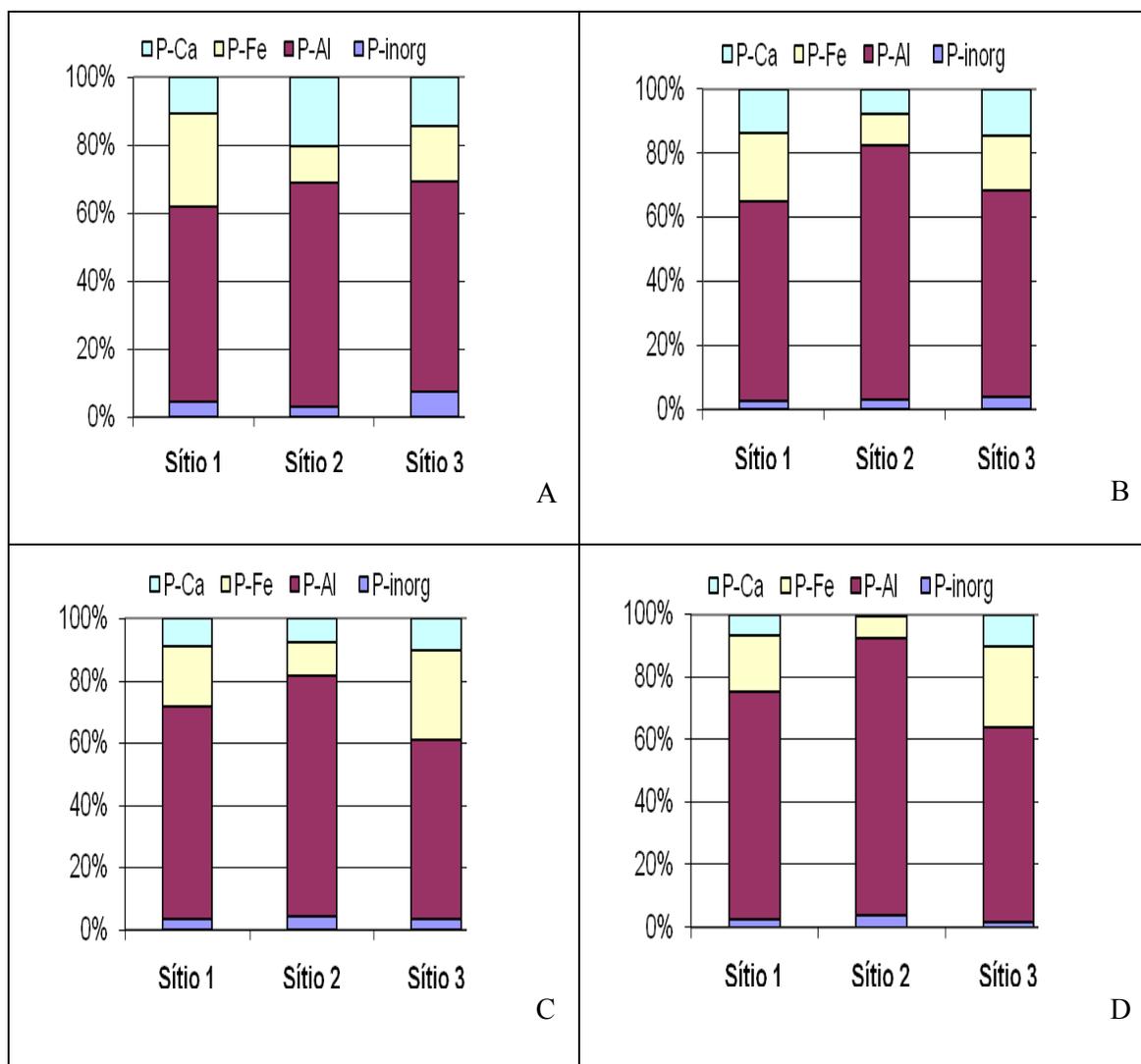
foi observado 80% de P-Al, 12% de P-Fe e 8% de P-Ca, já no TPCL, 20-40 sem adubação o P-Al representou cerca de 60% do estoque de fósforo, o P-Fe representou 30% e o P-Ca 10%, (Figura 12, C). Nos tratamentos com Terra Preta, da camada, 20-40, com adubação, o TPRP apresentou algumas alterações, no tratamento sem adubação, embora que em uma fração reduzida, estoque de fósforo continha a três frações, P-Al, P-Ca e P-Fe), porém no tratamento com adubação, o estoque de fósforo apresentou só as frações de P-Al e P-Fe representando 95% e 5% respectivamente. Os tratamentos TPCA e TRCL não apresentaram alterações com relação aos tratamentos sem adubação, (Figura 12, D).

Os tratamentos com Solo Adjacente, camada 0-20, sem adubação, ao contrário do que ocorreu nos tratamentos com Terra Preta, apresentaram maior variação entre as frações de fósforo nos três tratamentos, não houve predominância da fração P-Al em relação as frações P-F e P-Ca. O estoque de fósforo no SACA, variou da seguinte forma, 40% de P-Al, 25% de P-Fe e 30% de P-Ca. No SARP, a fração P-Al correspondeu a 30%, o P-Fe representou 45% e o P-Ca colaborou com 20% do estoque de fósforo no solo. No SACL, o estoque foi representado por 15% de P-Al, 40% de P-Fe e 25% de P-Ca. Todos os tratamentos com Solo Adjacente, 0-20 apresentaram, cerca de 5% de P- inorgânico em solução, (Figura 13, A).

Os Solos Adjacentes, 0-20, quando adubados, apresentaram algumas mudanças no estoque do fósforo. No SACA, houve uma redução na fração do P-Ca e aumentou o P-Fe, ficando portanto o estoque de fósforo nesse tratamento representado por 40% de P-Al, 40% de P-Fe e 15% de P-Ca. No SARP, houve uma redução na fração de P-Fe, que nesse tratamento representou 25% do estoque do fósforo no solo e aumentaram as frações de P-Al e P-Ca representando 35% e 25% do estoque, respectivamente. No SACL, a fração P-Ca foi reduzida para 5%, o P-Al aumentou consideravelmente atingindo 45% do estoque de fósforo e o P-Fe permaneceu em 40%. Uma pequena fração de P-inorgânico continuou sendo observada nos tratamentos com adubação, (Figura 13, B).

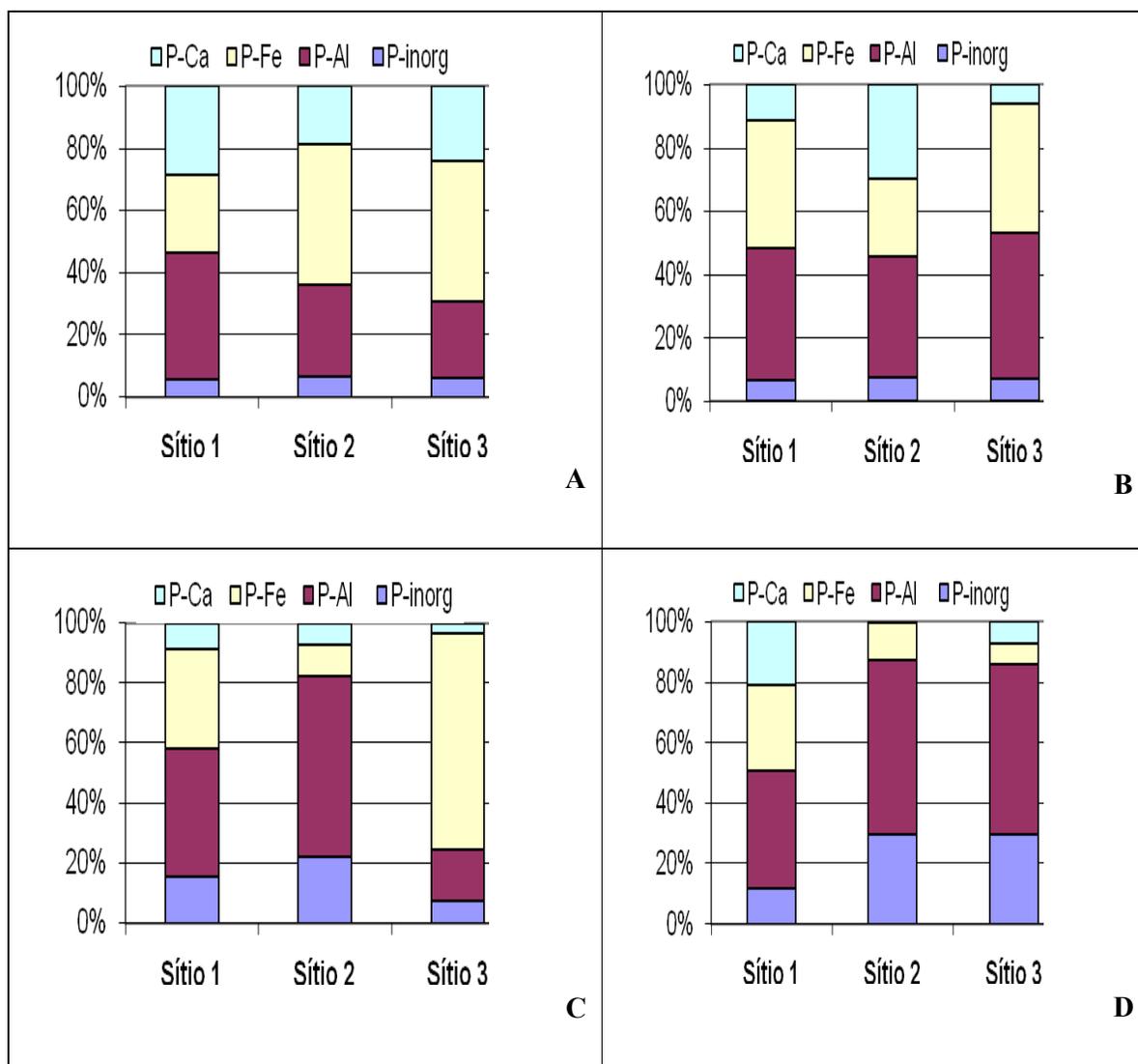
Nos Solos Adjacentes, camada 20-40, sem adubação, a fração de P-Ca foi muito reduzida em todos os tratamentos. No SACA a maior fração observado foi a de P-Al, 40%, a fração de P-Fe foi 30% e 5% de P-Ca, foi observado uma fração de P-inorgânico em solução maior que nos tratamentos da camada 0-20, correspondendo a 15% do estoque de fósforo, nesse tratamento. No SARP, o P-A correspondeu a 60%, o P-Fe a 15%, o P-Ca a 5% e o P-inorgânico em solução correspondeu a cerca de 20%. O P-Fe foi a maior fração do SACL, 70%, o P-Al correspondeu a 15% e o P-Ca a 5%, o P-inorgânico em solução correspondeu a uma fração de 10% do estoque do fósforo, (Figura 13, C).

Ocorreram variações marcantes, quando os Solos Adjacentes, camada 20-40, receberam adubação. A fração de P-Al, que se apresentou de forma variada nos tratamentos sem adubação, nos tratamentos com adubação passaram a representar a maior fração do estoque de fósforo, nos três tratamentos, 35% no SACA, 60% no SARP e 60% no SACL. O P-inorgânico em solução aumentou nos tratamentos SARP e SACL chegando a representar cerca de 25% do estoque de fósforo, no entanto, no SACA o P-inorgânico permaneceu praticamente inalterado contribuindo com quase 15% do estoque do fósforo. No SACL, o P-Fe, que no tratamento sem adubação era a maior fração do estoque do fósforo, no tratamento com adubação foi reduzida para apenas 5%, enquanto o P-Ca aumentou, passando a representar 10% do estoque. No SACA a fração de P-Fe foi levemente reduzida, representando 25% do estoque de fósforo e o P-Ca aumentou para 20%. No SARP o P-Fe representou 15% do estoque e a fração de P-Ca, que foi de 5% no tratamento sem adubação, não apareceu no tratamento com a adubação, (Figura 13, D).



**Figura 12.** Caracterização do estoque de fósforo no solo de terra preta, depois do plantio do milho (*Zea mays* L.), dos sítios 1, 2 e 3, na camada 0-20, sem adubação (A) e com adubação (B), e na camada 20-40, sem adubação (C) e com adubação (D).<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iranduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva, e; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.



**Figura 13.** Caracterização do estoque de fósforo no solo adjacente, depois do plantio do milho (*Zea mays* L.), dos sítios 1, 2 e 3, na camada 0-20, sem adubação (A) e com adubação (B), e na camada 20-40, sem adubação (C) e com adubação (D).<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iranduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva, e; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

### 3.4.3 Fracionamento do Fósforo no solo após o plantio do feijão

O estoque de fósforo, após o plantio de feijão caupi, nos tratamentos com Terra Preta, 0-20, sem adubação apresentou-se de forma variada nos diferentes tratamentos. No TPCA, a maior fração observada foi a de P-Ca representando cerca de 45% do estoque, a fração P-Fe foi a segunda maior fração neste tratamento representando cerca de 30% e finalmente o P-Al com 25% do estoque de fósforo. No TRPR a maior fração observada foi de P-Al com 55% do estoque, em seguida o P-Ca com 35% e o P-Fe representando apenas 10% do estoque de fósforo neste tratamento. Foi observado, ainda, no tratamento de TPCL, quantidade semelhantes de P-Ca e P-Al, representando cada uma 39% e 40%, respectivamente, enquanto que o P-Fe representou 21% do estoque, (Figura 14, A).

Não foram observadas grandes alterações no estoque de fósforo dos tratamentos com Terra Preta, 0-20, que receberam adubação, em relação aos tratamentos sem adubação. No TPCA ocorreu um aumento na fração de P-Ca que passou a representar quase 60% do estoque de fósforo, em contrapartida a fração correspondente ao P-Fe diminuiu, passando a representar 15%, por outro lado a fração correspondente ao P-Al permaneceu inalterada, representando 25% do estoque. Nos outros tratamentos, as mudanças foram ainda menores, no TPRP as frações de P-Ca e P-Al reduziram cerca de 5% cada um, passando a representar 30% e 50%, respectivamente, enquanto que a fração P-Fe aumentou passando a representar 20% do estoque de fósforo, já no TPCL quem reduziu foram as frações de P-Fe e P-Ca, passando a representar 15% e 35%, respectivamente do estoque de fósforo, enquanto o P-Al aumentou, passando a representar 50%, (Figura 14, B).

A fração P-Al foi a maior fração observada nos tratamentos com Terra Preta, 20-40, sem adubação, TPCA e TPRP, chegando a representar mais de 65% e 75%, respectivamente, do estoque do fósforo nestes solos, porém no TPCL a fração de P-Al não foi tão representativa ficando em torno de 45%. Ainda observando esses tratamentos pode-se dizer

que as frações de P-Fe e P-Ca foram menos expressivas, no TPCA elas representaram 35% do estoque do fósforo, onde o P-Fe representou 25% e o P-Ca 10%, no tratamento TPRP essas frações representaram apenas 25% do estoque do fósforo no solo, colaborando cada uma com 15% o P-Fe e 10% o P-Ca, no entanto, as frações de P-Ca e P-Fe foram mais expressivas no tratamento TPCL onde representaram 55% do estoque de fósforo no solo, sendo 35% de P-Fe e 20% de P-Ca, (Figura 14, C).

Foi observado que alguns dos tratamentos com Terra Preta, 20-40, com adubação apresentaram mudanças no estoque de fósforo com relação aos tratamentos sem adubação. No TPCA, houve redução no P-Al, o qual passou a representar 45% do estoque de fósforo e aumentaram as frações referentes ao P-Fe e P-Ca que corresponderam a 35% e 20%, respectivamente. As mudanças no tratamento TPRP também ocorreram em todas as frações, porém, foram reduzidas as frações referentes ao P-Al que representou 60% e P-Fe que representou 5%, do estoque do fósforo, por outro lado o P-Ca de cálcio teve um aumento significativo representando 35% do estoque de fósforo no solo. O P-Al, não apresentou nenhuma mudança no tratamento TPCL, onde representou 45% do estoque de fósforo, porém o P-Fe teve uma pequena redução, passando a representar 30% do estoque de fósforo, e o P-Ca passou a representar 25% do estoque, (Figura 14, D).

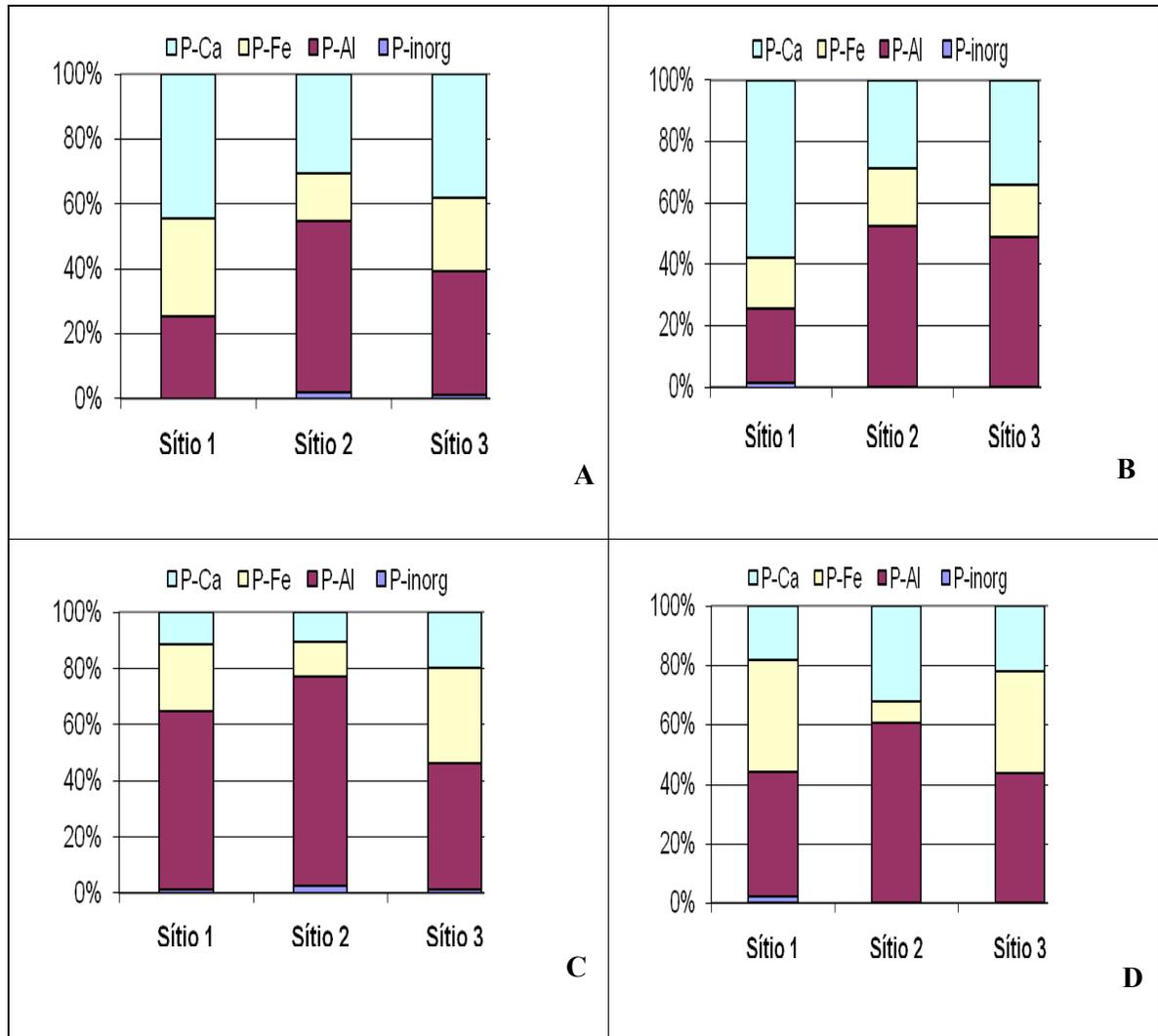
O estoque de fósforo variou para os diferentes tratamentos com Solo Adjacente 0-20, sem adubação, no SACA o P-Fe representou cerca de 55% do estoque enquanto que o P-Al representou 30% e o P-Ca representou 15% do estoque de fósforo no solo. No entanto o P-Al representou cerca de 75% do estoque de fósforo no tratamento SARP e as demais frações nesse solo foram representadas por 15% de P-Ca e 10% de P-Fe, já no tratamento SACL as frações de P-Al e P-Fe foram muito próximas, equivalendo a aproximadamente 45% e 40%, respectivamente, o P-Ca, no entanto, representou apenas 15% do estoque de fósforo nesse tratamento, (Figura 15, A).

Para os tratamentos com Solo Adjacente, 0-20, a adubação ocasionou pequenas mudanças ao se comparar com os tratamentos sem adubação. Foi verificado que no tratamento SACA o P-Ca aumentou de forma considerável, representou cerca de 35% do estoque de fósforo, em compensação o P-Fe diminuiu, passou a representar 40% e o P-Al representou 25% do estoque de fósforo. No SARP, foi verificada a presença de 10% do P-inorgânico em solução e uma redução na fração referente ao P-Al, que contribuiu com 60% do estoque do fósforo, verificou-se também um pequeno aumento na fração de P-Ca, que representou 18% do estoque e uma pequena redução do P-Fe que contribuiu com 12%. No SACL o P-Ca que já era uma fração bem pequena do estoque, nesse tratamento ficou ainda menor representando somente 5% do estoque, no entanto o P-Fe aumentou, passando a representar 50% do estoque e o P-Al, representou cerca de 45% do estoque, permanecendo igual ao tratamento sem adubação, (Figura 15, B).

O estoque de fósforo nos tratamentos com solo adjacente, 20-40, sem adubação foi representado de forma variada pelas frações, nos diferentes tratamentos. O P-Fe representou cerca de 65% do estoque de fósforo, no tratamento SACA, enquanto que o P-Al representou cerca de 20% e o P-Ca representou 15%, no SARP a maior fração observada foi de P-Al, a qual representou cerca de 60% do estoque de fósforo, o restante do estoque foi representado por 30% de P-Fe e 10% de P-Ca, no SACL a maior fração observada foi de P-Fe correspondendo à cerca de 55% do estoque do fósforo, enquanto que o P-Al representou 35% e o P-Ca representou com apenas 10% do estoque, (Figura 15, C).

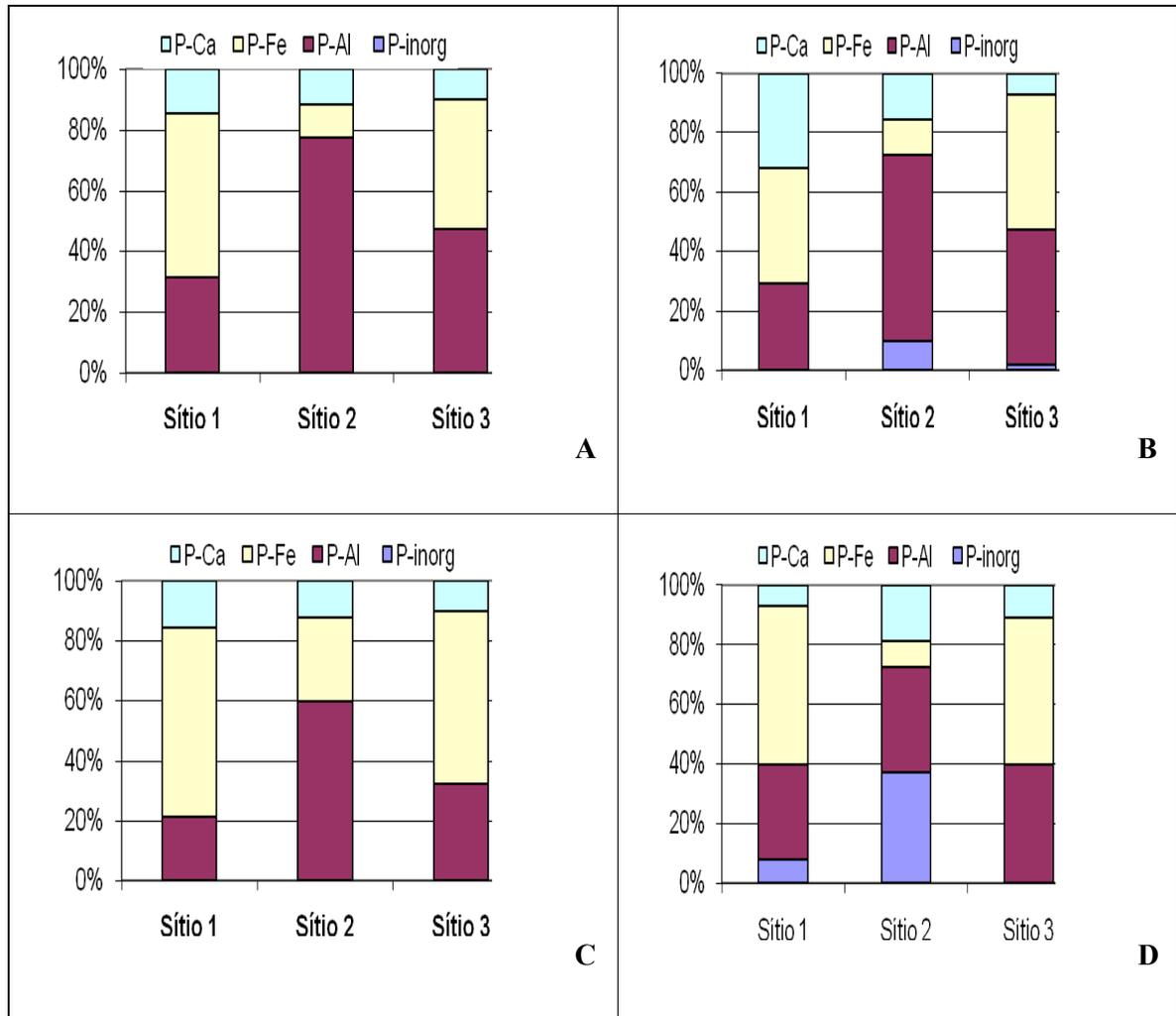
Nos tratamentos com Solo Adjacente, 20-40, com adubação foram observadas algumas alterações com relação aos tratamentos sem adubação. No tratamento SACA o P-Fe reduziu, passando a representar 55% do estoque de fósforo, o P-Al aumentou, correspondendo a 35%, foi observado, também uma redução na fração de P-Ca que passou a representar apenas 5% do estoque de fósforo e ocorreu ainda a presença de 5% de P-inorgânico em

solução. As alterações, com relação ao tratamento sem adubação, no SARP foram maiores, os P-Fe e P-Al reduziram de forma acentuada passando a representar 7% e 35%, respectivamente, no entanto o P-Ca aumentou para 20% e o P-inorgânico em solução, que não foi observado no tratamento sem adubação, representou 38% do estoque do fósforo, no tratamento com adubação, sendo a maior fração observada neste tratamento. No SACL, as mudanças, foram menos perceptíveis, ocorreu um pequeno aumento na fração P-Al e uma pequena redução na fração P-Fe, passando a corresponder a 40% e 50% o, cada fração, respectivamente, a fração correspondente a P-Ca não sofreu alteração, permanecendo a representar 10% do estoque de fósforo no solo, (Figura 15, D).



**Figura 14.** Caracterização do estoque de fósforo no solo de terra preta, depois do plantio do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), dos sítios 1, 2 e 3, na camada 0-20, sem adubação (A) e com adubação (B), e na camada 20-40, sem adubação (C) e com adubação (D).<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iraduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva, e; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.



**Figura 15.** Caracterização do estoque de fósforo no solo adjacente, depois do plantio do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), dos sítios 1, 2 e 3, na camada 0-20, sem adubação (A) e com adubação (B), e na camada 20-40, sem adubação (C) e com adubação (D).<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Sítio 1: Costa do Açutuba, município de Iranduba; Sítio 2: Fazenda Jiquitaia, município do Rio Preto da Eva, e; Sítio 3: Costa do Laranjal, município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

Comparando o estoque de fósforo nas amostras de Terra Preta, na camada 0-20, sem adubação, observa-se que houve uma diferença marcante após o segundo plantio com feijão, (Figura 14, A), podendo-se destacar principalmente a variação ocorrida na Terra Preta da Costa do Açutuba (TPCA) onde o P-Al diminuiu mais de 50% em aos valores encontrados antes do primeiro plantio, (Figura 11, A), e após a colheita do milho, (Figura 12, A). Essas mudanças também ocorreram ao P-Ca que apresentou um acréscimo de mais de 300% em relação ao P-Ca encontrado no solo antes e após o plantio do milho. Na Terra Preta do Rio Preto da Eva (TPRP), o P-Al também diminuiu e o P-Ca aumentou cerca de 40%. Na Terra Preta da Costa do Laranjal (TPCL) o P-Ca aumentou mais de 100% enquanto que o P-Al diminuiu em torno de 20 %.

Os tratamentos com Terra Preta, 0-20, que receberam adubação, não apresentaram diferenças no estoque de fósforo no solo após o plantio do milho, (Figuras 11 A e 12 B), entretanto após o plantio do feijão, (Figura 14, B), foi observado uma diferença significativa, onde o P-Ca participou com mais de 50% do estoque de fósforo na TPCA. Nota-se também que o P-Al antes do plantio, (Figura 11, A), era em torno de 60% do estoque de fósforo, após o plantio do feijão reduziu para 25%, (Figura 14, B). O estoque de fósforo determinado nos tratamentos de TPRP, 0-20, com adubação após o plantio do feijão, também apresentaram diferenças significativas em relação aos valores encontrados antes e depois do plantio do milho, (Figuras 11 A e 12 B), o P-Al que participava com 80% do estoque após o plantio do milho sofreu um decréscimo de 50%, enquanto que o P-Ca que participava somente com 10% após o plantio de milho aumentou cerca de 200% após o plantio do feijão. Nos tratamentos com TPCL o P-Ca foi quem apresentou uma maior variação, aumentou cerca de 100% em relação aos valores encontrados após o plantio do milho.

O estoque de fósforo determinado nos tratamentos com Terra Preta, na camada, 20-40, (Figura 14, C), não apresentaram grandes variações em relação ao estoque de fósforo

determinado antes e após o plantio do milho, (Figuras 11 B e 12 C), com exceção da TPCL onde observa-se uma redução da fração P-Al em mais de 20% após o plantio do feijão, quando comparado aos valores observados antes e após o plantio do milho. Nos tratamentos com adubação desses solos, (Figura 14, D), o P-Al diminuiu cerca de 70% enquanto que o P-Fe aumentou cerca de 100% na TPCA, quando comparado com os valores antes do plantio do milho, (Figura 11, B). Em relação aos tratamentos com o solo TPRP antes do plantio, (Figura 11, B), o P-Al predominava com mais de 70% no estoque do fósforo no solo, aumentando ainda mais após o plantio do milho, (Figura 12, D), por outro lado após o plantio de feijão o P-Al diminuiu e o P-Ca aumentou em mais de 200%, (Figura 14, D). Nos tratamentos da TPCL, o P-Al também predominava com 60%, o estoque de fósforo antes do plantio do milho, (Figura 11, B), permanecendo igual após o plantio do milho, (Figura 12, D), e reduzindo em cerca de 15% após o plantio de feijão, passando a representar cerca de 45% do estoque do fósforo, no entanto o P-Ca aumentou em 15%, passando a representar 25% do estoque do fósforo no solo após o plantio do feijão, (Figura 14, D).

Comparando-se o estoque de fósforo nos tratamentos com Solo Adjacente, 0-20, sem adubação, observa-se que após o primeiro plantio (Figura 13, A), o estoque de fósforo apresentou algumas alterações com relação aos observados nestes solos antes do plantio, (Figura 11, C), assim como, foram observadas alterações no estoque de fósforo após o plantio de feijão, (Figura 15, A). No Sítio Costa do Açutuba, o P-Al que representava 50% do estoque de fósforo antes do plantio milho, reduziu em aproximadamente 20% após o plantio do milho, porém se manteve constante daí por diante apresentando praticamente o mesmo percentual de P-Al após o plantio de feijão, no entanto o P-Fe que antes do plantio de milho representava cerca de 35% do estoque de fósforo, sofreu uma redução de 40% após o plantio do milho, porém apresentou um incremento bastante acentuado após o plantio do feijão, chegando a representar cerca de 50% do estoque de fósforo, apresentando um incremento de

100% com relação a sua representação no estoque após o plantio do milho, por sua vez o P-Ca aumentou em cerca 600% após o plantio de milho, porém voltou a reduzir em aproximadamente 50% após o plantio do feijão. No Sítio Rio Preto da Eva, foram observadas mudanças marcantes com relação as frações de P-Ca e P-Fe, antes do plantio do milho, o estoque de fósforo era composto por 60% de P-Ca, reduzindo para 20% após o plantio do milho e reduzindo para 15% após o plantio do feijão, no entanto o P-Fe que não apareceu no estoque antes do plantio, representou cerca de 40% do estoque de fósforo após o plantio do milho, em seguida reduziu para 10% após o plantio do feijão e o P-Al que antes e depois do plantio do milho representava cerca de 30% do estoque de fósforo, passou a predominar no estoque, após o plantio do feijão, representando quase que 80% do estoque de fósforo. No Sítio Costa do Laranjal, a mudança foi muito acentuada, pois o estoque de fósforo que antes do plantio era exclusivamente composto por P-Al, após o plantio do milho, esta fração reduziu para apenas 20%, no entanto, a maior fração observada foi de P-Fe, 50% do estoque, nota-se também a presença de P-Ca, representando 25% do estoque, porém após o plantio do feijão, o P-Al voltou a crescer em mais de 100%, passando a representar 45% do estoque de fósforo enquanto que o P-Ca reduziu em mais de 50%.

Nos tratamentos com Solo Adjacente, 0-20, com adubação, (Figuras 13 B e 15 B) as mudanças observadas foram principalmente em relação ao solo antes do plantio sem adubação, (Figura 11, B), não ocorrendo alterações marcantes no estoque de fósforo depois do plantio de milho e depois do plantio de feijão. No Sítio Costa do Açutuba, o P-Ca que representava apenas 5% do estoque do fósforo no solo, após o plantio do feijão passou a representar 30% do estoque, tendo portanto, um incremento de mais de 600%, já o P-Al que representava 50% do estoque antes do plantio de milho após o plantio do feijão representava apenas 30% do estoque. No sítio Rio Preto da Eva, o P-Al foi quem mais se destacou, aumentou em mais de 100% após o plantio do feijão, enquanto que o P-Ca reduziu de 60%

antes do plantio de milho para menos de 20% após o plantio de feijão. No Sítio Costa do Laranjal, antes do plantio do milho o estoque do fósforo era representado por 100% de P-Al, no entanto após o plantio de milho, foi observado uma redução de 50% no P-Al e o P-Fe e P-Ca que não ocorriam antes do plantio, passam a representar 40% e 5%, respectivamente, do estoque de fósforo. Após o plantio do feijão, o estoque de fósforo não apresentou mudanças, foram observadas porcentagens semelhantes, de cada fração, às apresentadas após o plantio do milho.

Nos tratamentos com Solo Adjacente, 20-40, sem adubação, o estoque de fósforo sofreu várias alterações no que se refere as frações P-Al e P-Ca. Antes do plantio do milho, o P-Al predominava no estoque de fósforo dos três sítios, (Figura 11, D). No Sítio Costa do Laranjal, 100% do estoque de fósforo era de P-Al, nos sítios Costa do Açutuba e Rio Preto da Eva, ele representava mais de 50% do estoque, no entanto, após o plantio do milho, no sítio Costa do Laranjal, o P-Al reduziu para apenas 20% do estoque enquanto que o P-Fe, que não aparecia antes do plantio, passou a ser a maior fração observada chegando a representar cerca de 70% do estoque, (Figura 13, C). Após o plantio do feijão, o P-Feo aumentou cerca de 100% no Sítio Costa do Açutuba e 200% no Sítio Rio Preto da Eva, enquanto que no sítio Costa do Laranjal ele reduziu em 20%, comparando-se ao estoque de fósforo depois do plantio do milho, (Figura 15, C).

Nos Tratamentos com Solo Adjacente, 20-40, com adubação, (Figura 13 D e 15 D) em comparação com os tratamentos neste solo antes do plantio do milho, (Figura 11, D), ocorreu mudanças no estoque de fósforo tanto após o plantio de milho como após o plantio do feijão. No Sítio Costa do Açutuba, antes do plantio do milho o estoque de fósforo era representado por 60% de P-Al, 35% por P-Fe e 5% de P-Ca, após o plantio do milho, o P-Al reduziu para 40%, o P-Fe não alterou enquanto que o P-Ca aumentou para 20%, e uma pequena parcela de P-inorgânico em solução foi observada equivalendo a 15% do estoque de

fósforo. Após o plantio do feijão, as parcelas de P-inorgânico em solução caíram para 10% e P-Ca para 5%, o P-Al passa a representar apenas 30% do estoque de fósforo, enquanto que o P-Fe predomina representado 55% do estoque. No Sítio Rio Preto da Eva, a mudança marcante foi com relação ao P-Ca, que não aparecia no estoque antes e depois do plantio do milho, no entanto após o plantio do feijão, representou 20% do estoque enquanto que o houve uma redução em 50% da fração de P-Al. Também no Sítio Costa do Laranjal, houve uma mudança marcante no estoque do fósforo após o plantio do feijão, o P-Al reduziu em 60% com relação ao estoque antes do plantio do milho, e o P-Fe que não constava passou a representar 50% do estoque de fósforo.

Barber (1995), relata que solos com pH acima de 7,0, a forma predominante de fósforo é fosfato de cálcio enquanto que solos ácidos ou moderadamente ácidos com pH entre 5,0 e 5,9 o fosfato de alumínio é a forma predominante nos solos. Considerando que o índice de acidez nas Terras Pretas é média, o horizonte A antrópico, das mesmas, apresentou uma porcentagem muito alta de fosfato de alumínio, altos teores de matéria orgânica e baixos teores de ferro disponível pode-se inferir que grande parte do fósforo disponível nas Terras Pretas poderá se ligar com micronutrientes como o Ferro e o Zinco formando fosfato de Ferro e/ou fosfato de zinco e também reagir com parte do alumínio trocável e da acidez potencial formando fosfato de alumínio. Outro ponto que deve ser levado em consideração é qual a fonte primária dos altos teores de fósforo disponível encontrados das Terras Pretas, acredita-se que esse fósforo disponível está sendo liberado em grande parte do fosfato de cálcio tornando Ca e P disponíveis em grande quantidade, com isso o presente estudo obteve baixos teores de P-Ca e altos teores de P-Al. Outro estudo sobre fracionamento do fósforo em terra preta foi realizado por Leummam (2006), porém, a metodologia tanto com relação a coleta das amostras como o método de extração das frações, foram diferentes das utilizadas neste trabalho o que inviabilizou a comparação dos resultados.

## CONCLUSÕES

Houve variação na fertilidade dos sítios, as Terras Pretas embora apresentem níveis muito altos de fósforo e cálcio apresentam também limitações com relação a alguns nutrientes, um desses elementos é o potássio, provavelmente essa variação na fertilidade seja influenciada pela utilização ou tipo de atividade desenvolvida em cada sítio. Essas limitações se refletem diretamente nas culturas que não se desenvolvem adequadamente deixando de trazer o retorno desejado ao produtor.

A adubação embora inicialmente tenha causado algumas reações de imobilização do fósforo, solucionou as limitações outrora detectados, proporcionando maior biodisponibilidade do fósforo, bem como maior desenvolvimento e melhor nutrição para as plantas.

O estoque de fósforo, ao contrário do que se esperava, apresentou maior porcentagem de fosfato de alumínio o que nos leva a crer que esse fósforo disponível está sendo liberado em grande parte do fosfato de cálcio tornando Ca e P disponíveis em grande quantidade, com isso o presente estudo obteve baixos teores de fosfato de cálcio e altos teores de fosfato de alumínio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J.C., GUIDOLIN, J.A., LOPES, A.S. Os Adubos e a eficiência das adubações. 2. ed. São Paulo: ANDA (Boletim Técnico, 3), 1991. 35p.

BARBER, S. A. Soil Nutrient Bioavailability – A Mechanistic Approach. Second Edition. Canada: John Wiley & Sons, Inc. 1995. 414 p.

BITTENCOURT, V. C.; ZAMBELLO JUNIOR, E. Comportamento do Fósforo em Solos Tropicais. I. Isotermas de Adsorção. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia, 1975. 10(11):59-64.

BRADY, N.C. Natureza e Propriedades dos Solos. 8. ed. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1983

BRADY, N.C. Natureza e Propriedades dos Solos. 5 edição. 1979.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Relações entre formas de fósforo inorgânico, fósforo disponível e material vegetal em solos sob vegetação de cerrado: I. Trabalhos de laboratório. 1972. *R. Ceres*, 19:124-136.

CHANG, S. C.; JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.*, 1957. 84: 133-145.

COCHRANE, T. T.; SANCHEZ, L. G.; AZEVEDO, L. G.; PORRAS, J. A.; GAVER, C. L. Land in Tropical América. Vol. 1 CIAT/EMBRAPA, 1984.

Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5<sup>a</sup>. Aproximação. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 1999. 359p.

COSTA, M.L.; KERN, D.C.; KÄMPF, N. Pedogeochemical and Mineralogical Analyses of Amazonian Dark Earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B; WOODS, W. Amazonian Dark Earths – Origin – properties – management. Chapter: 17. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003.

COSTA, M.L.; MORAES, E.L.; BEHLING, H.; KERN, D.C. 1997. Os sedimentos lacustres da baía de Caxiuanã. In: P.L.B. Lisboa – Caxiuanã, Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1997. p. 121-137.

EDEN, M.J.; Bray, W.; HERRERA, L; MCEWAN, C. Terra Preta Soils and their archaeological context in the Caquetá Basin Of Southeast Colombia. 1984. *American Antiquity*, 49:125-140.

EIDT, R.C. Detection and examination of anthrosols by phosphate analysis. *Science*, 1997. 197:1327-1333.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Serviço de Produção de Informação – SPI. Brasília, p. 35, 202, 1999.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos. 1999. 370p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Métodos de Análises de Solo. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do solo. Rio de Janeiro, 1979.

FALCÃO, N. P. S.; CARVALHO, E. J. M; COMERFORD, N. Avaliação da fertilidade de solos antropogênicos da Amazônia Central. In: Congresso da Sociedade de Arqueologia Brasileira, XI. Grupo de trabalho: Terras Pretas Arqueológicas na Amazônia: estudo da arte. Rio de Janeiro, 2001.

FALCÃO, N. P. S.; SOUZA, G. K. A. Avaliação da biodisponibilidade de fósforo em solos antropogênicos (Terra Preta do Índio) da Amazônia. In: FERTBIO, Rio de Janeiro: 2002.

FALCÃO, N. P. S.; COMERFORD, N.; LEHMANN, J. Determining Nutrient Bioavailability of Amazonian Dark Earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B; WOODS, W. Amazonian Dark Earths – Origin – properties – management. Netherlands: Chapter 14. Kluwer Academic Publishers, 2003.

FALESI, I. C. “O Estado Atual dos Conhecimentos sobre os Solos da Amazônia Brasileira (Parte I Zoneamento Agrícola da Amazônia)”. 1972. IPEAN Bol. Tec. 54: 17-67.

FASSBENDER, H.W. Estudio Del fósforo em suelos de America Central IV. Capacidad de fijacion de fósforo y su relación con características edáficas. *Turrialba*, 19:497-505. 1969.

FEREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS – CNPQ, 1991. 734P.

GOUROU, P. Observações Geográficas na Amazônia. *Revista Brasileira Geografia*, 1949. 11:354-408.

IYAMUREMYE, F.; Dick, R.P. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. *Adv. Agron.*, 56:139-185. 1996.

KERN, D.C. Solos de Terra Preta podem ser solução para a agricultura na Amazônia. 2002. Disponível em: <<http://www.museu-goeldi.br/destaqueamazonia/tpa.htm>> Acesso em: 29 mai. 2003.

KERN, D.C.; COSTA, M.L. Composição química de solos antropogênicos desenvolvidos em Latossolo Amarelo derivados de lateritos. *Geociências*, 16(1):141-156, 1997.

KERN, D.C.; KAMPF, N. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná, Pará. *R. bras. Ci. Solo*, 13:219-225, 1989.

KERN, D. C.; AQUINO, G. D'; RODRIGUES, T.E.; FRAZÃO, F.J.L.; SOMBROEK, W.; MYERS, T. P.; NEVES, E.G. Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B; WOODS, W. Amazonian Dark Earths – Origin – properties – management. Chapter 4. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003.

KRONBERG, B.I.; FYFE, W.S.; LEONARDOS, O.H.; SANTOS, A. M. The chemistry of some Brazilian soils: element mobility during intense weathering chemical geology. 1979. p. 211-229.

LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GERMAN, L. A.; McCANN, J; MARTINS, G.C.; MOREIRA, A. Soil Fertility and Production Potential. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B; WOODS, W. Amazonian Dark Earths – Origin – properties – management. Chapter: 6. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. Manual de Descrição e Coleta no Campo. 2ª Edição. Campinas: SBCS, 1982. 45 p.

LIMA, H.N. Gênese, Química, Mineralogia e Micromorfologia de Solos da Amazônia Ocidental. Tese de Doutorado. Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa: 2001. 176p.

LOPES, A.S.; CARVALHO, J.G. Técnicas de Levantamento e Diagnóstico da Fertilidade do Solo. In: Oliveira, A.J.; Garrido, W.E.; Araújo, J.D.; Lourenço, S. (eds.). *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. EMBRAPA-SEA, Brasília, DF. 1991. p.7-61.

LOPES, A. S. Solos sob "Cerrado"; características propriedades e manejo. São Paulo: Instituto da Potassa e Fosfato, Piracicaba, 1984. 162p.

MADARY, B.; BENITES, V. M.; CUNHA, T.J.F. The Effect of Management on the Fertility of Amazonian Dark Earth Soils. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B; WOODS, W. Amazonian Dark Earths – Origin – properties – management. Chapter: 6. Netherlands:

Kluwer Academic Publishers, 2003.;

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Ceres, 1980. 253 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba. 1989. 201p.

MALAVOLTA, E., et al. Nutrição Mineral e Adubação de Plantas Cultivadas. São Paulo: Pioneira, 1974. p. 371-418.

MCCUNE, D.L. Fertilizers for tropical and subtropical agriculture. International Fertilizer development Center, Musele Shoals. Alabama: 1981. 35660, 26p.

MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C; ARZOLLA, S.; SILVEIRA,R.I.; COBRA NETTO, A.; KIEHL,J.C. **Fertilidade do solo**. São Paulo: 1987, Nobel. 399p.

MEURER, E. J. Fundamentos de Química do solo. 2ª ed. Porto Alegre: Genesys, (2004).

NASCIMENTO, C ; HOMMA, A. Amazônia: Meio ambiente e tecnologia agrícola. Belém:. Embrapa –CPATU, 1984. 282p.

NOVAIS, R.F.; KAMPRATH, E.J. Parâmetros das isotermas de adsorção de fósforo como critério de recomendação de adubação fosfatada. 1979. *R. bras. Ci. Solo*, 3(1):37-41.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. UFV, Viçosa, MG. 1999 399p.

OLIVEIRA, I. P.; DANTAS, J.P. Nutrição Mineral do Caupi. In: ARAUJO, P. P.; WALT, E. E. O caupi no Brasil. Brasília: IITA/EMBRAPA, 1988. 408-430 p.

PABST, E. Critérios de distinção entre Terra Preta e Latossolo na região de Belterra e os seus significados para a discussão pedogenética. Bol. Mus. Par. Emílio Goeldi, Série Antropologia, 1991. 7(1):5-19.

RAIJ, B.V. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagens. In: Boletim Técnico, 100. CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M.C.. Campinas: IAC, 1996. p. 56-59.

RODRIGUES, A. J. Ecology of the Kayabi Indians of Xingu, Brazil: Soil and Agroforestry Management, Univ. of Cambridge. 1993.

SANCHEZ, P.A.; COCHRANE, T.T. Soil Constraints in relation to major farming systems in tropical America. Paper to be presented at the Soil Constraints Conference, RRRI, Los Banos, Philippines. CIAT, Cali, Colombia. 1979.

SANCHEZ, P. A. Suelos Del Tropico. Características y manejo. Costa Rica: 1981. 167-1984 p.

SARRUGE, J.R. Soluções Nutritivas. Nota Técnica. Piracicaba: 1975. 1: 213-233.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P.. Análises químicas em plantas. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Química, 1974. 56p.

SCHOBENHAUS, C., CAMPOS, D. A., DERZE, G.R., ASMUS, H.E. Geologia do Brasil. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1984. 57-88 p.

SJOBERG, A. Phosphate analysis of anthropic soils. *J. Field Archaeology*, 3:447-454. 1976.

SMITH, N.J.H. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. *Annals of the Association of American Geographers*, 1980. 70:553-566.

SOMBROEK, W.G. Amazon Soil. A Reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon Region. Wageningen, Centre for agricultural publication and documentation. 1966. 262p.

STAUFFER, M.D.; SULEWSKI, G. Fósforo essencial para a vida. In: YAMADA, T.; ABADLLA, S. R. S. Fósforo na Agricultura Brasileira. Capítulo 1. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004.

VIEIRA, L. S. Manual da Ciência do Solo. Com ênfase aos Solos Tropicais. São Paulo: Editora Agronômica. Ceres, 1988. 464p.

VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C. Amazônia – Seus solos e outros recursos naturais. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. 416p.

VITTI, G. C.; FAVARIN, J. L. Nutrição e Manejo Químico do solo para a cultura do milho. in Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior – ABEAS. Curso de especialização por Tutoria à distância. Módulo 8. Brasília: 2002, 18-39 p.

WOODS, W. I. ; McCANN, J.M. The Anthropogenic Origin and Persistence of Amazonian Dark Earths. *Yearbook, Conference of Latin Americanist Geographers*, 1999. 25:7-14.

ZECH, W.; PABST, E.; BECHTOLD, G. Analytische Kennzeichnung vom Terra Preta do Índio. *Mitt., Dtsch. Bondenk.* 1979. Ges. 29:709-716

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)