



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUACAO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS
TROPICAIS

Caracterização química do solo e da serrapilheira em cafezais (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) em transição para sistemas agroflorestais no município de Apuí - AM

ANA CLÁUDIA FRANCISCO SALOMÃO

Manaus, Amazonas

Outubro de 2016

ANA CLÁUDIA FRANCISCO SALOMÃO

Caracterização química do solo e da serapilheira em cafezais (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) em transição para sistemas agroflorestais no município de Apuí - AM

Orientadora: Dr^a Sônia Sena Alfaia

Coorientadora: Dr^a Katell Uguen

Dissertação apresentada ao Programa de Pós – Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais.

Manaus, Amazonas
Outubro de 2016



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

DEFESA PÚBLICA DISSERTAÇÃO / PPG-CFT - INPA

Ata da Defesa Pública da Dissertação de Mestrado de ANA CLAUDIA FRANCISCO SALOMÃO aluno (a) do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS, realizada no dia 07 de outubro de 2016.

Aos sete dias do mês de outubro de 2016, às 09h00, na Sala de Aula 02 do Programa de PG em Ciências de Florestas Tropicais, PPG-CFT, Campus III, INPA-V8, realizou-se a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado intitulada: "CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO E DA SERRAPILHEIRA EM CAFEZAIS (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) EM TRANSIÇÃO PARA SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO MUNICÍPIO DE APUÍ - AM" em conformidade com o Artigo 68 do Regimento Interno do PPG-CFT e Artigo 52 do Regimento Geral da Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (MCTI-INPA) como parte final de seu trabalho para a obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS, área de concentração em *Manejo Florestal*. A Banca Examinadora foi constituída pelos seguintes professores doutores: ELISA VIEIRA WANDELLI (EMBRAPA), GIL VIEIRA (INPA), e FABIANO EMMERT (INPA). O(a) Presidente da Banca Examinadora, Dr(a) Sonia Sena Alfaia (Orientador(a)/INPA), deu início à sessão convidando os senhores membros e o(a) Mestrando(a) a tomarem seus lugares e informou sobre os procedimentos a serem observados para o prosseguimento do exame. A palavra foi, então, facultada ao(a) Mestrando(a) que apresentou uma síntese do seu estudo e respondeu às perguntas formuladas pelos membros da Banca Examinadora. Depois da apresentação e arguição, a referida Banca Examinadora se reuniu e decidiu por

aprovar por unanimidade e sugerir e depois acatar as críticas

A sessão foi encerrada às 11:05 e, para constar eu, Valdecira Azevedo, Secretária do PPG-CFT lavrei a presente Ata, que depois de lida e aprovada foi assinada pelo Presidente e membros da Banca Examinadora. Banca Examinadora:

Dr(a) ELISA VIEIRA WANDELLI

Aprovado(a) Reprovado(a)

Elisa Wandelli

Dr(a) GIL VIEIRA

Aprovado(a) Reprovado(a)

Gil Vieira

Dr(a) FABIANO EMMERT

Aprovado(a) Reprovado(a)

Fabiano Emmert

Sonia Sena Alfaia
Dra. Sonia Sena Alfaia
Presidente da Banca/Orientador

Jose Francisco de Carvalho
Dr. José Francisco de Carvalho Gonçalves
Coordenador do PPGCFT

S173 Salomão, Ana Cláudia Francisco

Caracterização química do solo e da serapilheira em cafezais (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) em transição para sistemas agroflorestais no município de Apuí - AM /Ana Cláudia Francisco Salomão . --- Manaus: [s.n.], 2017. 83 f.: il.

Dissertação (Mestrado) --- INPA, Manaus, 2017.

Orientador: Sônia Sena Alfaia

Coorientador: Katell Uguen

Área de concentração: Ciências de Florestas Tropicais

Café. 2. Química do solo. 3. Mineralização. I. Título.

CDD 633.73

Sinopse:

Foi feita a caracterização química do solo e da serapilheira estocada, em cafezais em transição para sistemas agroflorestais, em área de produção familiar no município de Apuí – AM com o intuito de identificar a contribuição do processo na fertilidade do solo.

Paravras chave:

1. Liteira
2. Café
3. Nitrogênio
4. Mineralização
5. Ciclagem de nutrientes

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, em especial ao Programa de Ciências de Florestas Tropicais pela oportunidade.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

À Dr^a Sônia Sena Alfaia pela orientação e apoio.

À Dr^a Katell Uguen pela enorme contribuição.

Ao Idesam e ao Fundo Vale pelo apoio através do Projeto Café em Agrofloresta. Agradeço a todos da equipe de Apuí, em especial Vinicius Figueiredo e Leonardo Rivetti

Aos produtores João Nilton, João Ramos, Gilberto, Ronaldo, Nildo por participarem, apoiarem e acreditarem no trabalho.

Aos técnicos do Laboratório Temático de Solos e Plantas, Edvaldo, Laura, Gabriela, Erisom, Raimundo e Roberta por todo o apoio e amizade.

Ao Jonas Filho, pela imensa e importantíssima colaboração na execução das análises laboratoriais.

Aos professores, pesquisadores, alunos e à secretaria do curso de pós graduação em Ciências de Florestas Tropicais.

Aos meus amigos/família que ganhei em Manaus, muito obrigada por terem dividido comigo essa experiência, sem vocês seria muito mais difícil.

À toda a minha família e amigos de Rio Branco pelo amor, apoio e pela torcida.

Obrigada!!!

RESUMO

Considerando a potencialidade dos sistemas agroflorestais como um método alternativo para a produção agrícola que promove, dentre outros benefícios, a conservação do solo, esse projeto teve como objetivo principal realizar a caracterização da serrapilheira acumulada e do solo em áreas de café em transição para sistemas agroflorestais (SAF) e identificar a sua influência na fertilidade do solo, em áreas de produtores familiares no município de Apuí – AM. As áreas em transição agroflorestal foram comparadas com as áreas de café em monocultivo e florestas remanescentes na mesma propriedade. Nos cafezais em transição para SAF foram plantadas espécies arbóreas e não arbóreas de leguminosas (Fabaceae) com o intuito de fornecer proteção ao solo, sombreamento, adubação verde e aumentar a agrobiodiversidade. Além da introdução de leguminosas, nos cafezais foram também realizados outros tratamentos agroecológicos como: utilização de biofertilizantes, calagem e controle alternativo de pragas. O estudo foi conduzido em três Estabelecimento Rurais (ER), cada um deles apresentam áreas de no mínimo 01 ha de monocultivo de café, de cultivo de café em transição para sistema agroflorestal e floresta remanescente, para coleta das amostras. O Delineamento experimental foi em blocos casualizados com três blocos, três tratamentos e três repetições, onde foram coletadas amostras de serrapilheira acumulada e amostras de solo para análises químicas dos nutrientes, em três diferentes épocas do ano. Além da determinação dos teores e concentrações de macro e micro nutrientes na serrapilheira acumulada e no solo, foram também analisadas as concentrações de NH_4^+ e NO_3^- para determinar a dinâmica do nitrogênio nos três tipos de uso solo e a influência da sazonalidade no processo de mineralização do nitrogênio.

ABSTRACT

Considering the potential of agroforestry systems as an alternative method for agricultural production that promotes, among other benefits, soil conservation, this project had as main objective to characterize accumulated litter and soil in coffee areas in transition to agroforestry systems (SAF) and to identify its influence on the soil fertility in areas of family farmers in the municipality of Apuí - AM. The agroforestry transition areas were compared to the monoculture coffee areas and remaining forests on the same property. In the coffee plantations in transition to SAF, tree and non-tree legume species (Fabaceae) were planted with the purpose of providing protection to the soil, shading, green manuring and agrobiodiversity. In addition to the introduction of legumes, other agroecological treatments were also carried out in coffee plantations, such as the use of biofertilizers, liming and alternative pest control. The study was conducted in three rural establishments (ER), each of which present areas of at least 1 ha of coffee monoculture, coffee growing in transition to agroforestry system and remaining forest, to collect samples. The experimental design was a randomized complete block design with three blocks, three treatments and three replications, where collected litter samples and soil samples were collected for chemical analyzes of nutrients at three different times of the year. In addition to the determination of macro and micro nutrient contents and concentrations in the accumulated litter and soil, NH_4^+ and NO_3^- concentrations were also analyzed to determine the nitrogen dynamics in the three types of soil use and the influence of the seasonality in the mineralization process of nitrogen.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1 Objetivo Geral.....	5
2.2 Objetivos específicos	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	5
3.1 Descrição da área de estudo	5
3.2 Histórico de uso do solo.....	7
3.3 Delineamento e tratamentos.....	10
3.3 Análise de laboratório	11
3.4 Análise estatística dos dados.....	14
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
5. CAPÍTULO I.....	19
6. Capítulo II	52
7. SÍNTESE INTEGRADORA.....	77
8. ANEXOS.....	78

1. INTRODUÇÃO

Os elementos químicos, incluindo todos os elementos essenciais à vida, são reciclados por processos naturais denominados ciclos biogeoquímicos, responsáveis pela circulação dos nutrientes na biosfera, do meio ambiente para os organismos e do organismo para o meio ambiente (Odum, 2004). Dessa forma, a água, o carbono, o oxigênio, o nitrogênio, o fósforo, o cálcio, entre outros elementos, percorrem esses ciclos, unindo todos os componentes bióticos e abióticos (Rosa et al., 2003). As quantidades de nutrientes, que entram ou saem anualmente de um ecossistema, são influenciadas por fatores como propriedades físicas e químicas do solo, condições climáticas, tipo de vegetação e localização do ecossistema (Poggiani, 1992).

A ciclagem de nutrientes constitui-se numa das partes mais importantes da regulação do funcionamento dos ecossistemas. E no caso da Amazônia cujas florestas estão, em grande parte, estabelecidas em solos pobres em nutrientes minerais, a manutenção da floresta sobre solos de terra firme é garantida por esse mecanismo (Ferreira et al., 2006). Isso ocorre pois os solos da região são em grande parte antigos, altamente lixiviados e geralmente caracterizados por uma elevada acidez e deficiência nutricional. Além disso, a entrada regular de novos nutrientes de materiais originários do solo é muito baixa (Schubart et al., 1984). Assim a biomassa sobre o solo é um dos reservatórios mais importantes de nutrientes para as plantas (Anderson & Spencer, 1991).

Em ecossistemas florestais a maior parte do suprimento nutricional das plantas é oriundo da remineralização dos elementos presentes na matéria orgânica (Herrera et al., 1978; Luizão et al., 2004). E é a serrapilheira, a principal via de transferência de matéria orgânica, nitrogênio, e outros elementos essenciais da vegetação para o solo florestal (Vital et al., 2004). A serrapilheira é definida por Vieira (1988) como sendo “o conjunto de detritos orgânicos, principalmente de origem vegetal, produzidos pela floresta como: folhas, galhos, flores, frutos e outros.” Em ecossistemas de florestas tropicais a produção de serrapilheira é contínua, porém, a quantidade produzida nas diferentes épocas do ano depende do tipo de vegetação (Leitão-Filho et al., 1993; Rodrigues & Leitão-Filho, 2001).

Vários autores já evidenciaram o efeito da sazonalidade da produção de serrapilheira, Silva et al., (2009) avaliou a influência da precipitação sobre a variação na produção de serrapilheira, na Estação Científica Ferreira Pena, Caxiuanã - Pará e verificou que a

sazonalidade da produção total de serrapilheira e de seus componentes (folhas, gravetos e partes reprodutivas) foi bem evidenciada, com ocorrência de maior produção na estação menos chuvosa.

Os nutrientes existentes na serrapilheira são rapidamente e eficientemente reciclados, tornando-se disponível para as plantas após a mineralização (Luizão et al., 2004). Esse mecanismo de ciclagem de matéria orgânica, somado a boa estrutura física do solo e uma biota complexa, especializada e ativa, é responsável por manter a fertilidade do solo, quando mantidos protegidos contra impactos diretos do sol e da chuva. Isso é o que ocorre em um cenário de cobertura florestal natural (Ross, et al., 1990).

Assim o suprimento de nutrientes ao solo, e, por conseguinte às plantas, é comprometido após a conversão da floresta em outros sistemas de uso do solo (Luizão, 2007). Segundo Primavesi (1986), os solos amazônicos devem ser mantidos sob permanente cobertura vegetal. Manter e até aumentar o teor de Matéria Orgânica do Solo (MOS) são condições essenciais para a conservação dos mesmos, evitando a diminuição da fertilidade e protegendo da erosão (Lopes & Guilherme, 2007).

Um dos principais meios de gestão de terras para conservação, fertilidade e manutenção da produtividade dos solos nos trópicos, devido sua baixa fertilidade natural, são os chamados Sistemas Agroflorestais –SAF (Nair, 1993). Os SAF são sistemas dinâmicos de manejo de recursos naturais com base ecológica que, através da integração de árvores no cultivos e pastagens, diversifica e sustenta a produção familiar para maiores benefícios sociais, econômicos e ambientais (Leakey, 1996). Ou seja, a ciência agroflorestal estuda a integração de árvores na agricultura tendo como unidade chave o estabelecimento agrícola (Van Leeuwen, 2011). As árvores e outros tipos de vegetação melhoram o solo abaixo delas, fornecendo produção de biomassa em forma de serrapilheira, sombreamento, proteção contra lixiviação e erosão, dentre outros benefícios (Nair, 1993). As espécies vegetais pertencentes a família Fabaceae, popularmente conhecidas como leguminosas, possuem ainda a capacidade de se associar simbioticamente às bactérias fixadoras de nitrogênio. Essa associação pode incorporar mais de 500 kg.há⁻¹. ano⁻¹ de N ao sistema solo-planta, que, juntamente com o fósforo, são os nutrientes que mais limitam o estabelecimento e o desenvolvimento vegetal (Siqueira & Franco, 1988).

Na Amazônia a perda da capacidade produtiva dos agroecossistemas tem levado ao abandono de milhões de hectares, após poucos anos de uso de terra. Essa dificuldade na

conservação da fertilidade de uma área de cultivo agrícola na Amazônia, leva os produtores a adotarem o sistema de “corte e queima” fazendo com que anualmente extensas áreas degradadas sejam abandonadas e novas áreas desmatadas para o início de um novo cultivo (Luizão, 2007).

Esse sistema também intitulado como agricultura itinerante representa o histórico de uso da terra no município de Apuí - AM, onde o uso do solo é baseado nesse processo de corte e queima da floresta nativa para produção agrícola, o que resulta, ao longo do tempo, em deficiências nutricionais e elevada acidez dos solos que limitam o sucesso da cafeicultura no município. A não utilização de adubos e corretivos acarreta um dos principais problemas enfrentados pelos agricultores da Amazônia que é a baixa produtividade obtida a partir do segundo cultivo após a queima da vegetação florestal (Cravo e Smyth, 1997). E a falta de alternativas para modelos com menor dependência de insumos químicos limita o desenvolvimento da cafeicultura local.

O SAF têm um lugar legítimo e importante no desenvolvimento amazônico, proporcionando para os pequenos agricultores sistemas de produção que são mais sustentáveis e ambientalmente menos danosos do que a agricultura e pastagem, que predomina como o principal uso da terra em áreas desmatadas, hoje (Fearnside 2009). O cultivo de café em sistemas agroflorestais disponibiliza também a diversificação do sistema com a produção de madeira, frutas e outros subprodutos, o que reduz o risco de renda da propriedade e torna possível a produção de café de base familiar (Campanha et al., 2004).

No município de Apuí, a cafeicultura foi introduzida pelos colonos oriundos do sul e sudeste do Brasil. Colonização essa, intensificada a partir da criação do Projeto de Assentamento Rio Juma no ano de 1982 pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) (Carrero e Fearnside, 2011).

No auge da produção de café em Apuí, o município chegou a produzir 4,5 mil toneladas de grãos beneficiados numa área total de 3,8 mil hectares. Porém, o alto custo de insumos e a falta de conhecimento sobre tecnologias alternativas de produção levaram ao abandono ou a substituição dos cafezais por pastagens (Carrero e Fearnside, 2011). Ainda assim o município representa a maior produção de café no Amazonas com 1,2 mil toneladas de grãos de café (*Coffea canephora*) produzidos em 1,1 mil hectares (IBGE, 2013).

O enriquecimento com espécies de leguminosas arbóreas e arbustivas em cafezais pouco sombreados tem ocorrido em Apuí com o apoio do Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas (Idesam). Por meio do Projeto Café em

Agrofloresta para o Fortalecimento de uma Economia de Baixo Carbono (Projeto Café) onde os produtores iniciaram um processo de transição para sistemas agroflorestais. Desde 2013 o enriquecimento ecológico destas áreas de produção de café está sendo implementado visando, além de melhores condições microclimáticas e fertilidade dos solos, a diversificação da renda e da alimentação familiar.

O uso de sistemas agroflorestais para a produção de café tem apresentado resultados favoráveis para a fertilidade dos solos, qualidade dos grãos e outros benefícios em muitos países da América Latina (Jaramillo-Botero et al., 2006). Frente ao histórico de degradação da Amazônia, a produção agroflorestal tem se tornado cada vez mais importante para o pequeno produtor por ser mais sustentável e ambientalmente e menos danosa do que a formação de pastagens ou a exploração madeireira (Fearnside, 2009).

Assim, diante da importância dos SAF como um método alternativo para a produção agrícola, que promove a sustentabilidade, o objetivo principal desse estudo foi avaliar o efeito das práticas agroecológicas utilizadas no processo de transição de cafezais para sistemas agroflorestais, na fertilidade do solo dos mesmos, em áreas de produtores familiares no município de Apuí – AM. Para isso, foram avaliados as características do solo e da serrapilheira estocada em cafezais em transição para Sistemas Agroflorestais em áreas de produtores familiares no município.

A apresentação dos resultados está dividida em dois capítulos, onde o capítulo I teve como objetivo principal realizar a caracterização da serrapilheira acumulada nessas áreas de café em transição para sistemas agroflorestais e sua influência na fertilidade do solo, comparando com café em monocultivo e florestas remanescentes na mesma propriedade. E o capítulo II teve como objetivo principal caracterizar a dinâmica de nitrogênio no solo dos cafezais em transição para sistemas agroflorestais e também compara-los com monocultivo de café e floresta remanescente na mesma propriedade.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as características do solo e da serrapilheira estocada em cafezais em transição para Sistemas Agroflorestais em áreas de produtores familiares no município de Apuí – AM.

2.2 Objetivos específicos

- 1 – Realizar a caracterização química do solo nos três tipos de uso: Café em monocultivo, café em transição agroflorestal e floresta remanescente;
- 2 – Realizar a caracterização química da serapilheira estocada nos três tipos de uso do solo;
- 3 – Determinar a influência da serapilheira estocada na fertilidade do solo;
- 4- Caracterizar a dinâmica do nitrogênio no solo nos três tipos de uso;

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi realizado no município de Apuí, localizado ao sul do Amazonas, nos limites com o estado do Pará ao Leste e com o estado do Mato Grosso ao Sul, situado entre as coordenadas geográficas 06°30' e 08°00' S e de 59° 00' e 60° 30' W. No Amazonas, o município faz fronteira ao norte com o município de Novo Aripuanã e a oeste com Humaitá, mais especificamente às margens da rodovia transamazônica (BR-230), ocupa uma área de 54.244 km² com uma população estimada de 20.648 habitantes (IBGE 2014) (Figura 1).

Cerca de 63% da área total do município é constituído por Unidades de Conservação (Carrero et al., 2013) e aproximadamente 30% é ocupada por Projetos de Assentamento da Reforma Agrária, entre eles o Projeto de Assentamento Rio Juma (PARJ), que engloba a maior parte das famílias assentadas na região (Cenamo et al., 2011) e onde estão localizados os Estabelecimentos Rurais (ER) estudados (Figura 2).

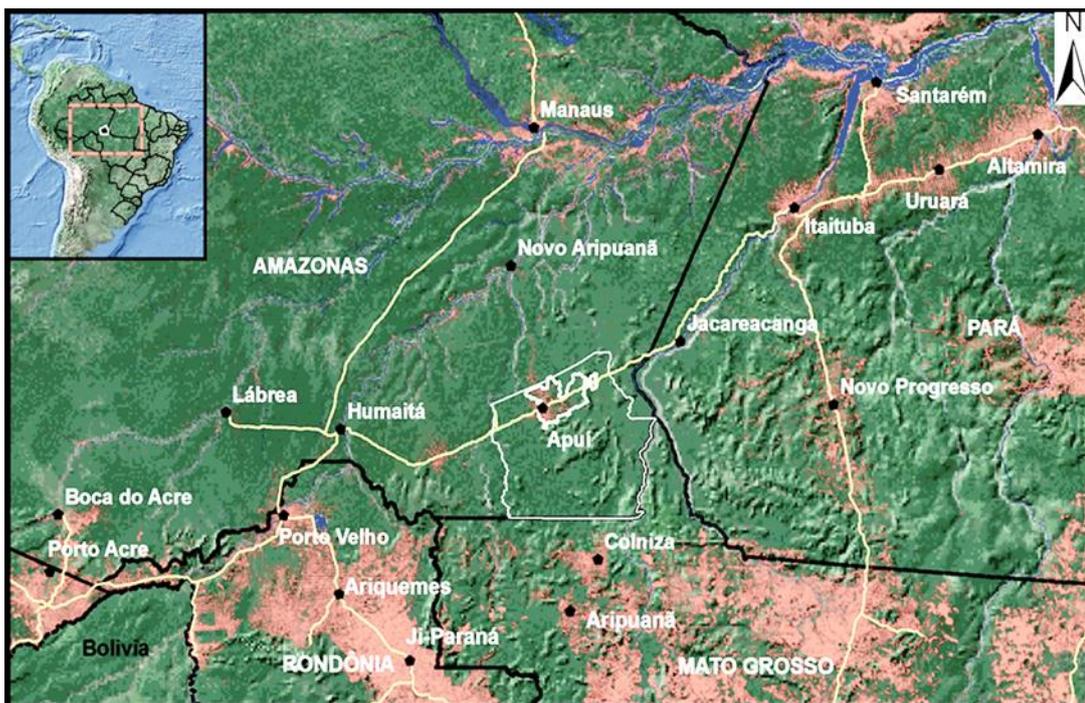


Figura 1: Localização do Município de Apuí – AM

Fonte: Carreiro e Fearnside, 2011

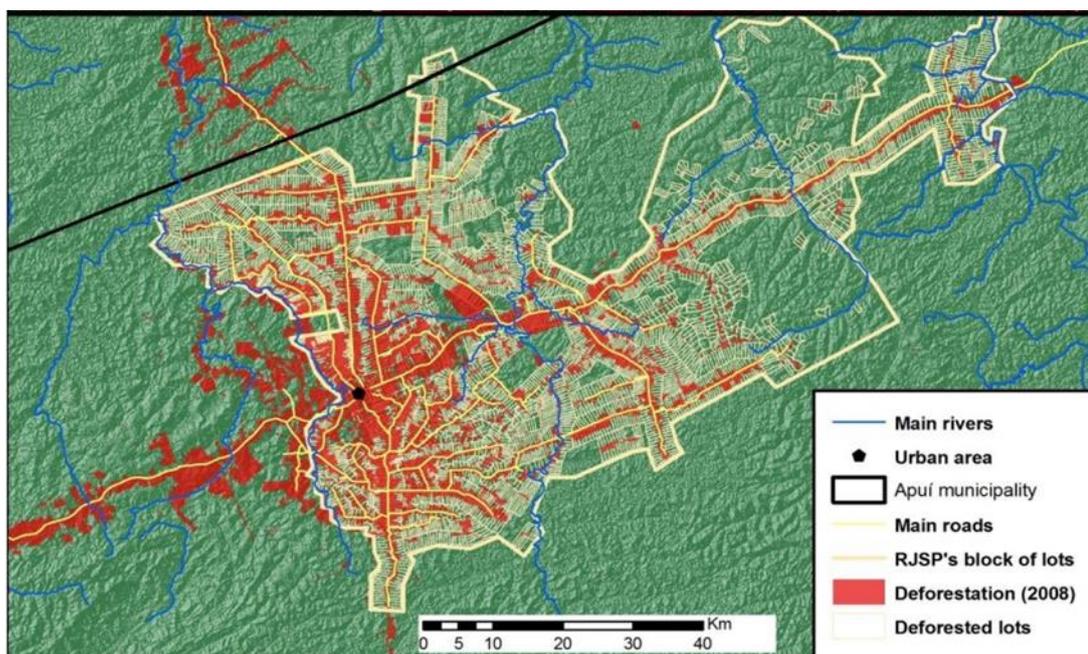


Figura 2: Projeto de Assentamento Rio Juma

Fonte:, Carreiro e Fearnside 2011

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Tropical de monção (Alvares, 2013). A precipitação média anual está em torno de 2.000mm. O período chuvoso ocorre entre os meses de janeiro a março, com pico pluviométrico no final de janeiro, e o período seco acontece entre os meses de junho a outubro (Instituto Nacional de Meteorologia e Estatística - INMET, 2016) (Figura 3).

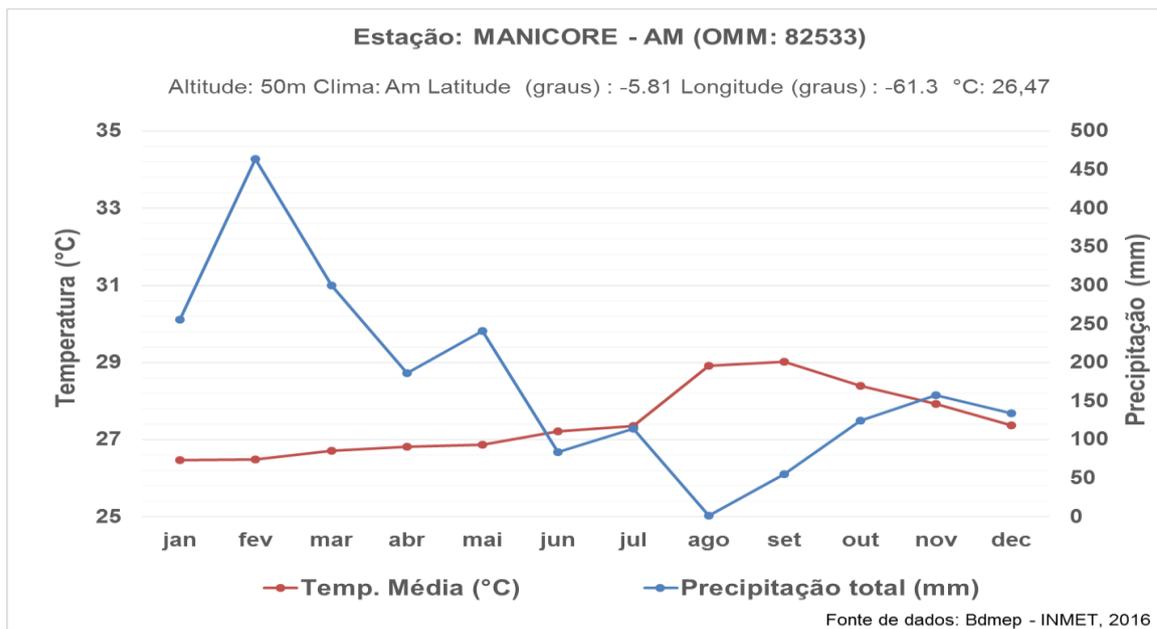


Figura 3: Precipitação e temperatura média do município de Manicoré – AM, município com estação meteorológica mais próximo de Apuí – AM.

A vegetação do município é predominantemente formada por floresta ombrófila densa e aberta com algumas formações de campinas sobre solos arenosos (RADAMBRASIL, 1978). O solo é caracterizado pela presença de Latossolos e Argissolos com predominância de elevada acidez e concentração de Al^{+3} , níveis médios e altos de matéria orgânica e níveis baixos de nutrientes (Moreira e Fageria, 2009). Nos estabelecimentos rurais estudados a textura do solo foi caracterizada como muito argilosa (Figueiredo, 2015).

3.2 Histórico de uso do solo

O estudo foi realizado em áreas de produção familiar, mais especificamente Estabelecimentos Rurais (ER) pertencentes ao Projeto de Assentamento do Rio Juma, onde são desenvolvidos cultivos de café em solos bem drenados de terra firme. Para o estudo foram selecionados três lotes de produtores que apresentam áreas de cultivo de café sob monocultivo, áreas de cultivo de café em transição para Sistemas Agroflorestais (SAF) e florestas remanescentes sobre o mesmo tipo de solo para comparação dos resultados. Para abranger o efeito da sazonalidade no estoque de serrapilheira foram realizadas coletas em três épocas do ano, período chuvoso (final de janeiro), início do período seco (julho) e final do período seco (outubro) de 2015.

O plantio de café (*Coffea canephora*) nas áreas estudadas foi realizado no espaçamento 3x2m, apresentando, hoje, idade entre 5 e 10 anos. Os SAF foram implantados em dezembro de 2013, onde foram incorporadas espécies florestais e agrônômicas em consórcio com o café.

A finalidade do plantio consiste em aumentar a biodiversidade nas áreas de cultivo utilizando espécies potenciais para a fixação de nutrientes, aumento da matéria orgânica no solo, da ciclagem de nutrientes, sombreamento, produção madeireira e não madeireira.

As três propriedades rurais selecionados para esse estudo estão avançadas no processo de transição agroflorestal com o cultivo de café. Os produtores foram apoiados pela ONG Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas (IDESAM) através do projeto intitulado “Café em Agrofloresta para o Fortalecimento da Economia de Baixo Carbono em Apuí (Projeto Café)”. Este projeto recomendou 2,8 toneladas de calcário dolomítico (93% de PRNT) e 70 kg de superfosfato triplo para cada agricultor aplicar em um hectare. Nessas propriedades, além da implantação dos SAF, o manejo adotado utiliza também outras técnicas agroecológicas, como o enriquecimento com espécies arbóreas florestais, uso de adubação verde, aplicação de biofertilizante foliar e controle alternativo de pragas (Figueiredo, 2015).

As espécies utilizadas para adubação verde foram: *Crotalaria spectabilis* Roth (crotalária), *crotalária juncea* L (crotalária), *Canavalia ensiformes* (L) DC (feijão-de-porco) e *Cajanus cajan* (L) Millsp. (feijão guandu), que foram cultivadas nas entrelinhas do café para promover um aumento na quantidade de matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e na fixação biológica de nitrogênio. As espécies arbóreas foram *Inga edulis* Mart. (ingá-cipó), *Gliricidia sepium* (Jacq) Walp. (gliricídia) e *Schizolobium amazonicum* Ducke (paricá). O biofertilizante é produzido nos próprios estabelecimentos rurais à base de esterco, cinzas, leite, açúcar, plantas leguminosas e plantas repelentes. O controle da broca-do-café *Hypothenemus hampei* Ferrari, praga importante para a cultura, ocorre com o uso de armadilhas feitas em garrafas Pet de 2 litros.

As florestas amostradas fazem parte dos limites físicos dos estabelecimentos estudados. São florestas, exploradas seletivamente pelos produtores de maneira subsistente. Porém, anualmente essas florestas são diminuídas, pelo processo de corte e queima e convertidas em áreas de cultivo agrícola ou pecuária.

Para a apresentação dos resultados cada propriedade foi nomeada como Estabelecimento Rural (ER), onde iremos utilizar as siglas ER1, ER2 e ER3 para o Estabelecimento Rural 1, Estabelecimento Rural 2 e Estabelecimento Rural 3, respectivamente (Figura 4).

A implementação dos SAF nos estabelecimentos rurais foi de responsabilidade dos produtores, apoiados pelo Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável do

Amazonas (Idesam) através do projeto Café em Agrofloresta para o Fortalecimento da Economia de Baixo Carbono em Apuí (Projeto Café).

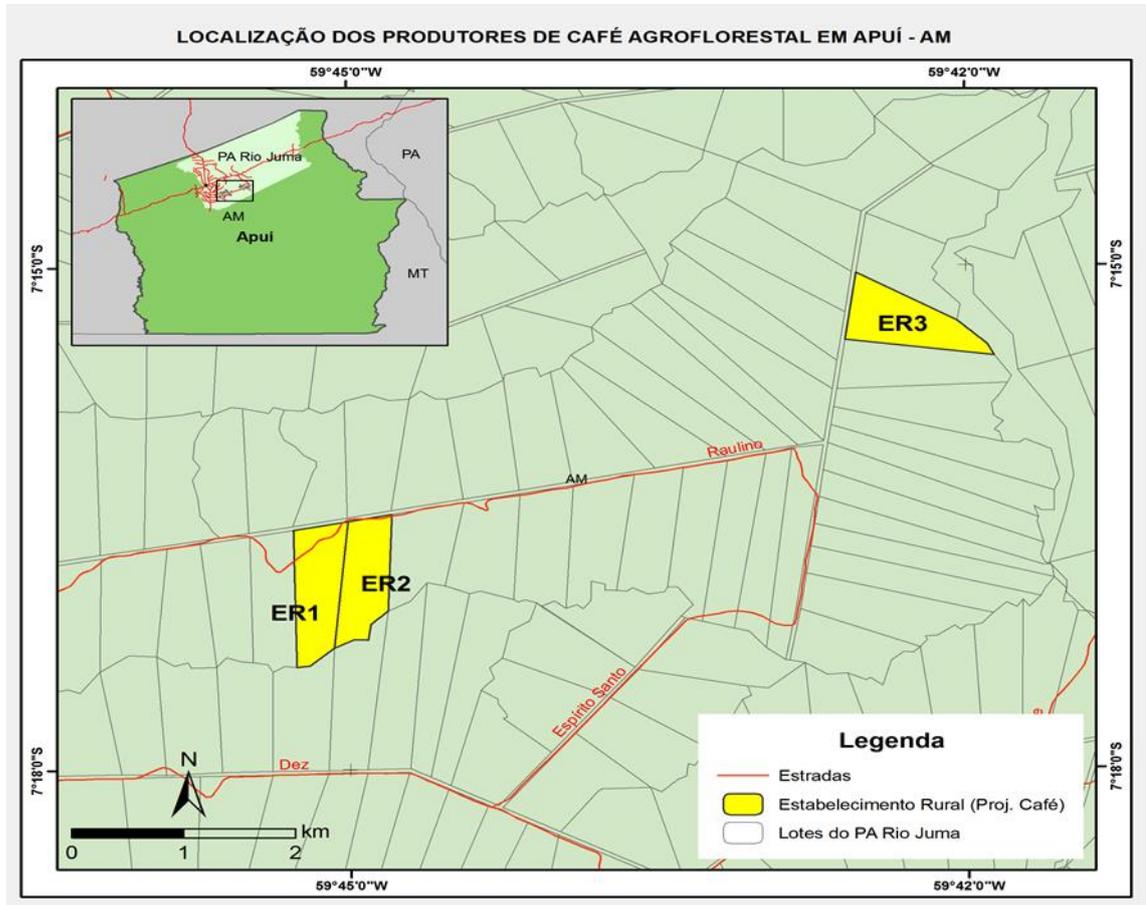


Figura 4: Localização dos Estabelecimentos Rurais - PARJ - Apuí, AM.

O projeto foi responsável pelo fornecimento de insumos, mudas de espécies arbóreas, sementes de espécies para adubação verde e material de campo para estruturar a produção agroflorestal em um hectare, por estabelecimento rural. Também foram realizadas, pelo Projeto Café, capacitações com bases na agroecologia e assessoria técnica para os produtores participantes.

Para a adubação verde cada produtor recebeu cerca de 15 kg de sementes, divididos em *Crotalaria sp* (6kg), *Canavalia ensiformes* (5kg) e *Cajanus cajan* (4kg), o plantio foi feito na forma de muvuca, com mistura das espécies nas entrelinhas.

Em relação à introdução de leguminosas arbóreas houve diferença na quantidade de espécies e de indivíduos incorporados ao café nas três propriedades analisadas (Tabela 1). Além

das espécies introduzidas, em todos os estabelecimentos rurais há presença de espécies de regeneração natural.

Tabela 1– Lista de espécies de leguminosas arbóreas em cada área de café Agroflorestal

Leguminosas arbóreas			
Espécie	ER1	ER2	ER3
<i>Schizolobium amazonicum</i>	31	41	10
<i>Gliricidia sepium</i>	24	0	0
<i>Inga edulis</i>	74	50	23
total	129	91	33

No ER1, a calagem foi realizada em área total utilizando uma dosagem de 1.0 t ha⁻¹ em janeiro de 2013. No ER2, a calagem, realizada em área total, utilizando uma dosagem de 2.8 t ha⁻¹ em fevereiro de 2014. E no ER3 a calagem foi realizada em área total utilizando uma dosagem de 2.8 t ha⁻¹ dividida em duas aplicações, uma realizada em Janeiro/2013 e a segunda em marco/2014.

Todas as propriedades utilizaram as armadilhas para o controle da broca-do-café e biofertilizantes foliar e apresentam alto teor de argila no solo (Figueiredo, 2015) (Tabela 2).

Tabela 2: Características físicas e textura dos solos nos três Estabelecimento Rurais (ER) estudados.

Granulometria (%)	ER1	ER2	ER3
Areia total	4	6	9
Argila	96	94	87
Silte	0	0	5
Textura	Muito Argilosa	Muito Argilosa	Muito Argilosa

Adaptado de: Figueiredo (2015).

3.3 Delineamento e tratamentos

O estudo foi conduzido Estabelecimento Rurais que apresentassem área de 1 ha de cultivo de café sob manejo tradicional, área de 1ha de cultivo de café em transição para sistema agroflorestal e uma área de floresta remanescente. O Delineamento foi em blocos casualizados com três tratamentos e três repetições.

As parcelas são compostas por 15 linhas de café no espaçamento de 3 por 2 metros ao longo de 50 metros de comprimento (45 m x 50 m) totalizando 2.250 m² de área, subdividida em três sub-parcelas de tamanhos iguais (15 x 50m), onde foram coletadas as amostras. Para

abranger a variabilidade sazonal sobre as variáveis em estudo, foram feitas três coletas ao longo de um ano, nos meses de Janeiro, julho e setembro de 2015, correspondendo às estações chuvosa, início da estação seca e final da estação seca respectivamente.

Para o estudo de serrapilheira foram coletadas 4 amostras, distantes 10 metros entre si, em cada subparcela, totalizando 108 amostras por coleta e um total de 324 amostras. Para a análise química do solo e dinâmica do nitrogênio mineral foram coletadas 4 amostras em cada subparcela, nas camadas 0-5 e 5 - 10 cm de profundidade, imediatamente abaixo da camada de serrapilheira, totalizando 216 amostras por coleta e um total de 648 amostras. Porém, para determinação química, as 8 amostras de solo, de cada quadrante, de cada subparcela formaram uma amostra composta, totalizando 27 amostras por período de coleta e 81 no total (Figura 5).

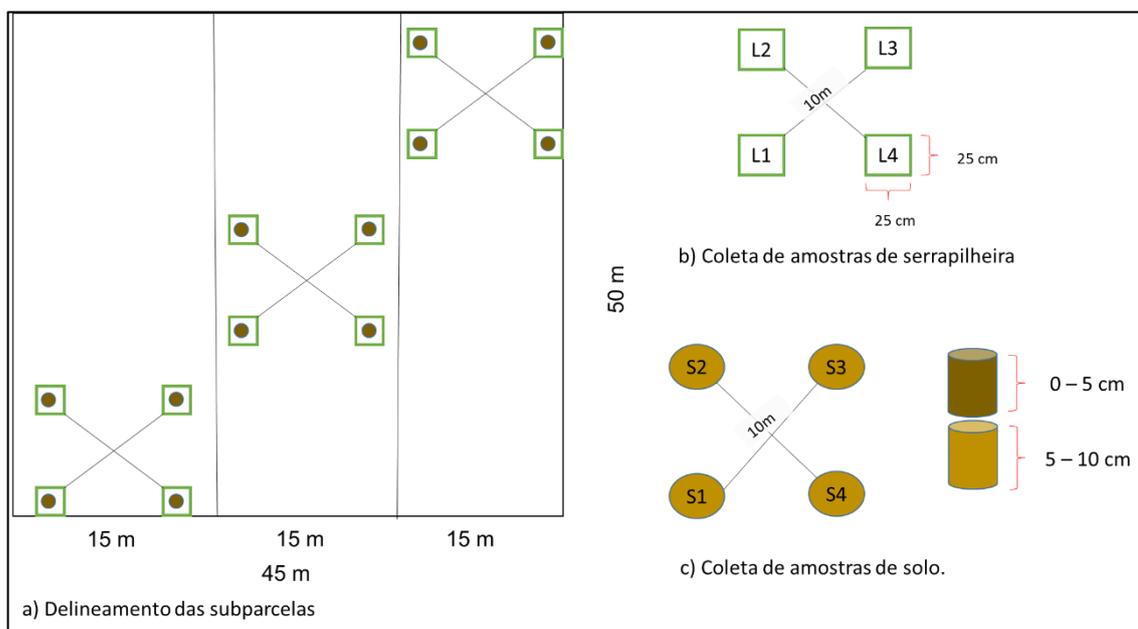


Figura 5: a) Representação do delineamento das subparcelas; (b) coleta de serrapilheira e (c) coleta de solo

3.3 Análise de laboratório

Coleta e preparo das amostras de serrapilheira e de solo

As amostras de serrapilheira foram coletadas com auxílio de um gabarito de madeira medindo 25 x 25 cm e os excedentes de folhas, galhos e frutos foram cortados com uma faca dentro dos limites do mesmo, até o contato com o solo. O armazenamento foi feito em sacos de papel, identificados segundo a área, parcela, ponto amostral e data, acondicionadas em sacos de fibra e transportadas para o centro de triagem do INPA, em Manaus, seguindo metodologia descrita por Scoriza et al., (2012).

Posteriormente as amostras foram secas ao ar e limpas com pincéis para retirada dos resíduos de solo, em seguida foram secas em estufa de ventilação forçada a 60°C durante 72h, até atingir peso constante, antes de serem pesadas. Após a pesagem as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey a 1 mm para determinação das concentrações de nutrientes no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA – LTSP seguindo o método proposto por Anderson & Ingram, (1993).

As amostras de solo foram coletadas com auxílio de um trado metálico do tipo holandês, em cada ponto foram coletadas duas amostras de solo nas profundidades de 0-5 e 5-10cm, logo abaixo da camada de serapilheira previamente coletada. Imediatamente após a coleta as amostras foram colocadas em sacos plásticos identificadas e armazenadas em ambiente refrigerado (caixa de isopor contendo gelo), até serem congeladas e transportadas até o Laboratório Temático de Solo e Planta do INPA. As amostras permaneceram congeladas até a extração do N mineral em laboratório.

Posteriormente à análise do N mineral, foi feita a análise química do solo, em que, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm, obtendo-se assim, a terra fina seca ao ar (TFSA), usada para realização das análises químicas, também no Laboratório Temático de Solo e Planta do INPA.

Umidade do solo

Para determinar a umidade do solo foi utilizado 10g de solo fresco, seco em estufa a 105 °C por 48 horas. O cálculo da umidade do solo foi feito utilizando a equação abaixo:

$$\% \text{ UM} = (\text{Peso úmido} - \text{Peso seco}) \times 100 / \text{Peso seco}$$

Nitrogênio mineral do solo

Os extratos de solo para determinação dos teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) foram obtidos utilizando-se amostras de 40g de solo úmido e 40ml de K_2SO_4 (0,5M), com agitação a 200 rpm do material por 15 minutos e mantido em repouso por 30 minutos, estes extrato foram filtrados e preservados para determinação dos teores de N-mineral. Os teores de NH_4^+ e NO_3^- foram determinados por colorimetria seguindo as metodologias também descritas por Anderson & Ingram (1993).

Taxas de nitrificação e mineralização do nitrogênio

Para determinar as taxas de transformação do N mineral foram retiradas duas subamostras de 40g de cada amostra de solo que posteriormente foram colocadas em frascos plásticos de 250ml: De uma das subamostras foi extraído o nitrogênio mineral inicial, e a outra sub amostra foi incubada, em ambiente fechado, por 10 dias em temperatura ambiente (25-30°). Após os 10 dias, foi extraído o N mineral da segunda amostra. A metodologia utilizada foi a mesma descrita acima

Para o cálculo das taxas foram usadas as seguintes formulas:

$$\text{Taxa de nitrificação} = [\text{N-NO}_3^-]_{\text{final}} - [\text{N-NO}_3^-]_{\text{inicial}}$$

$$\text{Taxa de mineralização} = [\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-]_{\text{final}} - [\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-]_{\text{inicial}}$$

Análise química do Solo

As análises de solo foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do INPA. Os nutrientes do solo foram determinados de acordo com os métodos descritos pela EMBRAPA (1999). O pH do solo foi determinado em H₂O em solução na proporção: 1:2,5.

O P assimilável, K⁺, Fe, Zn e Mn foram extraídos pelo método de extração em duplo ácido (Mehlich I). A determinação do P assimilável foi realizada pelo método de colorimetria, na presença de molibdato de amônio e vitamina C (Anderson e Ingram 1993), com posterior leitura em espectrofotômetro (UV-120-01, Shimadzu, Kyoto, Japan); o K, Fe, Zn e Mn por espectrofotometria de absorção atômica (AAS, 1100 B, Perkin-Elmer, Ueberlingen, Germany) segundo o método descrito por Anderson e Ingram (1993). As concentrações de Ca²⁺ e Mg²⁺, após extração em KCl 1N (Embrapa, 1999), foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica (AAS, 1100 B, Perkin-Elmer, Ueberlingen, Germany), segundo o método descrito por Anderson e Ingram (1993). O Nitrogênio Total foi determinado via digestão sulfúrica pelo método KJELDAHL e o C determinado pelo método Walkley-Black.

Análise química da serrapilheira

A análise do material vegetal foi feita no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA – LTSP/INPA. A determinação dos macro-nutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio

(Ca) e magnésio (Mg), foi realizada via digestão nitro-perclórica (Malavolta et al. 1989). Após a digestão das amostras, as concentrações de cada elemento foram analisadas. As bases K, Ca e Mg e os micronutrientes foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (AAS, 1100 B, Perkin-Elmer, Ueberlingen, Germany) (Anderson e Ingram 1993). A concentração de P total foi feita por colorimetria na presença de molibdato de amônio e vitamina C (Anderson e Ingram 1993), e quantificado por espectrofotometria (UV-120-01, Shimadzu, Kyoto, Japan). O Nitrogênio Total foi determinado via digestão sulfúrica pelo método KJELDAHL.

3.4 Análise estatística dos dados

Objetivo específico 1: Realizar a caracterização química da fertilidade do solo em três épocas do ano

Com o intuito de explorar juntamente todos os parâmetros químicos do solo, aplicou-se a análise de componentes principais (PCA) a partir da tabela de correlação entre as variáveis (dados padronizados). Para testar o conjunto de variáveis, entre os tratamentos, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) aos scores das duas primeiras componentes principais. No intuito de entender melhor estes testes, realizou-se a correlação de Pearson entre as variáveis e as componentes. Na PCA foram selecionadas 14 variáveis: pH, Al^{+3} , C, N, C/N, P, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , Fe, Zn, Mn, V% e Valor de T.

A interpretação individual dos parâmetros químicos do solo foi feita utilizando o teste de Kruskal-Wallis ao nível de $P < 0,05$, quando significativo foi aplicado o teste de Mann-Whitney para os contrastes individuais também a 5% de significância ($p < 0,017$)

Objetivo específico 2: Realizar a caracterização química da serrapilheira estocada em três épocas do ano.

Com o intuito de explorar juntamente todos os parâmetros químicos do serrapilheira, aplicou-se a análise de componentes principais (PCA) a partir da tabela de correlação entre as variáveis (dados padronizados). Para testar o conjunto de variáveis, entre os tratamentos, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) aos scores das duas primeiras componentes principais. No intuito de entender melhor estes testes, realizou-se a correlação de Pearson entre as variáveis e as componentes. Na PCA foram selecionadas 9 variáveis: Estoque, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn e Mn.

A interpretação individual dos parâmetros químicos da serrapilheira foi feita utilizando o teste de Kruskal-Wallis ao nível de $P < 0,05$, quando significativo foi aplicado o teste de Mann-Whitney para os contrastes individuais. também a 5% de significância ($p < 0,017$)

Objetivo específico 3: Determinar a influência da serrapilheira estocada na fertilidade do solo

Para testar a influência de determinados elementos oriundos da deposição da serrapilheira no solo, foram feitos testes de correlação de Pearson, para isso foram consideradas neste estudo as correlações significativas com $p < 0,05$.

Objetivo específico 4: Caracterizar a dinâmica do nitrogênio no solo em três épocas do ano.

Com o intuito de explorar juntamente todos os parâmetros da dinâmica do nitrogênio no solo, aplicou-se a análise de componentes principais (PCA) a partir da tabela de correlação entre as variáveis (dados padronizados). Para testar o conjunto de variáveis, entre os tratamentos, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) aos scores das duas primeiras componentes principais. No intuito de entender melhor estes testes, realizou-se a correlação de Pearson entre as variáveis e as componentes. Na PCA foram selecionadas 8 variáveis: Umidade, NH_4^+ , NH_4^+ incubado, NO_3^- , NO_3^- incubado, taxa de nitrificação, taxa de amonificação, taxa de mineralização.

A interpretação individual dos parâmetros químicos da dinâmica do nitrogênio no solo foi feita utilizando o teste de Kruskal-Wallis ao nível de $P < 0,05$, quando significativo foi aplicado o teste de Mann-Whitney para os contrastes individuais também a 5% de significância ($p < 0,017$)

Para testar a influência de determinados elementos nas taxas de mineralização, foram feitos testes de correlação de Pearson, para isso foram consideradas neste estudo as correlações significativas com $p < 0,05$.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES, G., LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDERSON, J. M. & SPENCER, T. Carbon, Nutrient and Water Balances of Tropical Rain Forest Ecosystems Subject to Disturbance: Management Implications and Research Proposals. MAB Digest 7, UNESCO, Paris. 1991
- ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. (Ed.). Tropical soil biological and fertility: a handbook of methods. 2nd ed. Wallingford: CAB International. 221p. 1993.
- CAMPANHA, Mônica Matoso et al . Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. *Rev. Árvore*, Viçosa , v. 31, n. 5, p. 805-812, Oct. 2004
- CARRERO, G. C., and P. M. FEARNESIDE. 2011. Forest clearing dynamics and the expansion of landholdings in Apuí, a deforestation hotspot on Brazil's Transamazon Highway. *Ecology and Society* 16(2): 26.
- CARRERO, G. C.; NOGUEIRA O. L. M.; BARROS, H. H. D.; CENAMO, M. C.; SOARES, P. G.; PAVAN, M. N. 2013. Análise de Mudança de Uso da Terra e Estrutura de Governança Ambiental nos Municípios do Profloram. IDESAM, Manaus-AM, 88p.
- CENAMO, M. C.; CARRERO, G. C.; SOARES, P. G. 2011. Estudo de oportunidades para a região sul do Amazonas. 1a ed. IDESAM, Série: Relatório Técnico, 56p.
- CRAVO, M.S.; SMITH, T.J. 1997. Fertility sustainable management of acentral Amazonian latossol under successive cultivations. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21(3): 240-273.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- FEARNESIDE, P.M.: Degradação dos recursos naturais na Amazônia Brasileira: implicações para o uso de sistemas agroflorestais. In: PORRO, R. (editor técnico) cap 5 Alternativa Agroflorestal na Amazônia em Transformação. Brasília: EMBRAPA Informação tecnológica, 825 p, 2009.
- FERREIRA, S.J.F.; LUIZÃO, F.J.; MIRANDA, S.A.F.; SILVA, M.S.R.S.; VITAL, A.R.T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firma na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. *Acta Amazônica* , Manaus, v. 36, n.1, p. 59-68, 2006.
- FIGUEIREDO, G. V. 2015. Contribuição da calagem e adubação fosfatada na transição de cafezais para sistema agroflorestal no município de Apuí, Amazonas, Manaus, Amazonas, 31 f 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2014. Disponível em <http://cod.ibge.gov.br/47I> . Acesso 02 de novembro de 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2016. Disponível em <http://cod.ibge.gov.br/ANU>. Acesso 03 de julho de 2016.
- IBGE, Produção da Pecuária Municipal 2012. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

INSTITUTO DE CONSERVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO AMAZONAS (IDESAM). Semeando Sustentabilidade em Apuí. Disponível em: <http://www.idesam.org.br/projetos/semeando-sustentabilidade/>. Acesso em: 12/11/2014;

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET, 2016. (Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>) Acesso em Julho de 2016.

JARAMILLO-BOTERO, C.; SANTOS, R.H.S.; MARTINEZ, H.E.P.; CECON, P.R.; SANTOS, C.R.; PERIN, A. 2006. Reproductive development and yield of coffee plants under different levels of shade and fertilization. *Revista Ceres* 53: 343-349

LEAKEY, R., Definition of agroforestry revisited. 1996. *Agroforestry Today* 8:1.

LEITÃO FILHO, H.F.; PAGANO, S.N.; CESAR, O.; TIMONI, J.L.; RUEDA, J.J. *Ecologia da mata atlântica em Cubatão, SP*. EDUNESP/ EDUNICAMP, São Paulo. 86 pp. 1993

LOPES, A.S.; & GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola (2-40p). In: NOVAIS, R. F. et. al., *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa – MG. 1017p. 2007

LUIZAO, Flávio J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. *Cienc. Cult.*, São Paulo, v. 59, n. 3, 2007

LUIZÃO, R.C.C., LUIZÃO, F.J., PAIVA, R.Q., MONTEIRO, T.F., SOUSA, L.S. & KRUIJ, B. 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Change Biology*, 10, 592-600

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. 2009. Soil chemical attributes of Amazonas state, Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40: 2912-2925

NAIR, P. K. R. – an introduction to Agroforestry. Kluwer Academic Publishers 499p, 1993.

ODUM, E. P. *Fundamentos de Ecologia*. 6ª ed. São Paulo: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004

POGGIANI, F.; MONTEIRO JÚNIOR, E.S. Deposição de folhedo e retorno de nutrientes ao solo numa floresta estacional semidecídua, em Piracicaba (Estado de SP). In: *Anais do VI Congresso Florestal Brasileiro*. Campos do Jordão, p. 596-602. 1992

PRIMAVESI, A. *Manejo ecológico de pastagens em regiões tropicais e subtropicais*. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1986. 184 p. il.

RADAMBRASIL, Projeto. 1978. Folha no. SB 20 Purus: geologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. 2001. *Matas Ciliares: Conservação e Recuperação*. 2. ed. Fapesp, São Paulo. 320pp

ROSA, R.S.; MESSIAS, R. A.; AMBROZINI, B. Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável. Instituto de Química de São Carlos – USP. 2003

SCHUBART, H.; FRANKEN, W.; LUIZÃO, F. 1984. Uma floresta sobre solos pobres. *Ciência Hoje*, 2(10): 26-32.

SCORIZA, R. N.; PEREIRA, M. G.; PEREIRA, G. H. A.; MACHADO, D. L.; SILVA, E. M. R. Metodos para coleta e analise de serrapilheira aplicados a ciclagem de nutrientes. Série Técnica (Floresta e Ambiente), 2(2): 01-18, 2012.

SILVA, R. M. et al. Influência de variáveis meteorológicas na produção de liteira na Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. Acta Amazônica. Manaus, v. 39, n. 3, 2009.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. Biotecnologia do solo: Fundamentos e perspectivas. Brasília: MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 1988. 236p.

Van Leeuwen, J. Uma ampliacao do conceito agroflorestal: Da criação de novos sistemas para a integração de arvores na agricultura. Amazônia Agroflorestal, Boletim Trimestral do ICRAF na Amazonia, 2011, 3 (1): 3-4

VIEIRA, L. S. Manual de ciência do Sol. Editota Agronômica Ceres. Piracicaba, SP. 384p. 1988.

5. CAPÍTULO I

CAPÍTULO 1

Caracterização da serrapilheira e sua influência na fertilidade do solo em cafezais em transição para sistemas agroflorestais, Apuí – AM.

Caracterização da serrapilheira e sua influência na fertilidade do solo em cafezais em transição para sistemas agroflorestais, Apuí – AM¹

Ana Cláudia Francisco SALOMÃO¹, Katell UGUEN², Sônia Sena ALFAIA³

¹Engenheira Florestal. Mestranda no Programa de Pós Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. anafsalomao@gmail.com

²Coorientadora. Universidade Estadual do Amazonas – UEA. katelluguen1@gmail.com

³Orientadora. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. sonia.alfaia1@gmail.com

*Autor correspondente: anafsalomao@gmail.com

RESUMO

Esse estudo teve como objetivo realizar a caracterização da serrapilheira acumulada em áreas de café em transição agroflorestal e sua influência na fertilidade do solo, comparando com café em monocultivo e florestas remanescentes na mesma propriedade. O estudo foi conduzido em três Estabelecimento Rurais, em cada um deles há uma área de 1 ha de café em monocultivo, uma área de 1 ha de café em transição para sistema agroflorestal e uma área de floresta remanescente. O Delineamento foi em blocos casualizados com três blocos, três tratamentos e três repetições, onde foram coletadas amostras de serrapilheira acumulada e amostras de solo para análises químicas dos nutrientes, em três diferentes épocas do ano. Os solos sob sistemas agroflorestais mostraram uma tendência a apresentar maior fertilidade no solo do que os outros três tipos de uso do solo. A serrapilheira exerceu influência positiva na fertilidade do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Liteira, acúmulo, *Coffea canephora*, Floresta tropical.

ABSTRACT

This study aimed to characterize the accumulated litter in coffee agroforestry areas in transition and its influence on soil fertility, compared to coffee monoculture and remaining forests on the same property. The study was conducted in three rural establishment, in each there is an area of 1 ha of coffee cultivation in monoculture, an area of 1 ha of coffee cultivation in transition to agroforestry system and an area of remaining forest. The Delineation was a randomized block with three blocks, three treatments and three replicates, which were collected samples of accumulated litter and soil samples for chemical analysis of nutrients in three different seasons. The soils under

agroforestry onstrated a tendency to have higher fertility in the soil than the other three types of land use. The litter had positive influence on soil fertility.

KEYWORDS: Litter layer, *Coffea canephora*, Rainforest.

1. INTRODUÇÃO

Em ecossistemas florestais a maior parte do suprimento nutricional das plantas é oriundo da remineralização dos elementos presentes na matéria orgânica e esta por sua vez está ligada a produção e a deposição da serrapilheira no solo que ao se decompor liberam nutrientes para o mesmo (Luizão et al., 2004; Herrera et al, 1978). Isso é o que acontece no ecossistema amazônico, que apresenta uma elevada taxa de decomposição, gerada pela temperatura ideal e alto teor de humidade, promovendo uma eficiente reciclagem de nutrientes (Luizao et al, 2004) e a manutenção de uma extensa floresta sobre solos em sua maioria pobres (Shubart et al, 1989), muito intemperizados, profundos, ácidos e com baixas concentrações de nutrientes (Dematte, 2000) onde a reserva de nutrientes é a própria floresta (Caldeira, 2008). Considerando que grande parte da Amazônia central, região amazônica em que esse estudo está inserido, é constituída por esses solos de baixa fertilidade, (Quesada, 2011), esse pode ser o fator de maior limitação na produtividade agrícola da região pois a torna totalmente dependente da manutenção de uma eficiente ciclagem de nutrientes (Dematte, 2000).

Quando há a conversão da cobertura florestal em outros tipos de uso do solo, principalmente pelo método de corte e queima, praticado há muito tempo nas regiões tropicais, amplamente disseminado no Brasil e por consequência bastante utilizado na Amazônia (Pedroso Junior et al., 2008), o equilíbrio da ciclagem de nutrientes do sistema – biomassa acima do solo e serrapilheira – é comprometido após a queima precoce da vegetação derrubada, uma vez que os nutrientes que não forem absorvidos rapidamente pela vegetação que recolonizará a área, serão lixiviados e irreversivelmente perdidos (Sanchez et al., 1982). Assim em um período de 2 a 3 anos o solo passa a ser infértil para o cultivo agrícola passando a exigir insumos agrícolas externos, como adubos químicos e fertilizantes para manutenção ou recuperação da produtividade (Pedroso Junior et al, 2008). Além de a queima de florestas para atividades agrícolas ser uma das grandes responsáveis pelas altas taxas de desmatamento e pelo aquecimento global (Fearsinde, 2005).

Esse modelo, também é bastante recorrente no sul do Amazonas, local de estudo deste trabalho. Nessa região, os produtores familiares de café do projeto de assentamento do Rio Juma, localizado no município de Apuí promovem o corte e a queima da floresta para posterior cultivo de café, pastagem ou outros tipos de culturas (Carrero e Fearside, 2011)

Com o passar do tempo, o solo que já não está mais sob a diversidade florística natural, e que recebeu adubação oriunda das cinzas da vegetação queimada, que ao se mineralizar fornece altos teores de nutrientes e funciona também como calagem, diminuindo a acidez natural do solo (Pedroso Junior et al, 2008), tende a se degradar logo nos primeiros anos e a produção vai gradativamente diminuindo e novas áreas florestadas da propriedade são convertidas em outros tipos de uso do solo, principalmente pastagem, através do mesmo processo de corte e queima (Carrero e Fearside, 2011). Serrão et al. (1996) estimam que de 30 a 50 % da floresta amazônica é desmatada por esse tipo de agricultura.

Uma alternativa ao modelo de agricultura de corte e queima, são os sistemas agroflorestais (SAF) (Dash & Mirsa, 2001; Pedroso Junior et al, 2008). Que podem ampliar o período de produção agrícola dentro de áreas já desmatadas, reduzindo a necessidade de desmatar novas áreas de floresta. (Smith et al, 1998) Os SAF são sistemas dinâmicos de manejo de recursos naturais com base ecológica que, através da integração de árvores no cultivos e pastagens, diversifica e sustenta a produção familiar para maiores benefícios sociais, econômicos e ambientais (Leakey, 1996). Ou seja, a ciência agroflorestal estuda a integração de árvores na agricultura tendo como unidade chave o estabelecimento agrícola (Van Leeuwen, 2011). Esse consorciamento promove diversas melhorias à qualidade física e química do solo, já que a inserção de espécies arbóreas além de proteger do sol, erosão e lixiviamento, fornecem ao mesmo uma maior e mais diversificada deposição de serrapilheira (Dubois, 1996). Fearside (2009) afirma que os SAF tem um lugar legítimo e importante no desenvolvimento amazônico.

Alguns estudos sobre o cultivo de café sombreado demonstram que o sombreamento denso reduz a produção e aumenta a qualidade dos grãos (Hernandez et al, 1997). Entretanto o sombreamento com espécies e espaçamentos adequados podem apresentar resultados satisfatórios quando comparado ao monocultivo em condição de pleno sol (Fernandes, 1996 Apud Ricci et al, 2007) O cultivo de café sob sistemas agroflorestais além dos benefícios oriundo do próprio cultivo

e a sustentabilidade do solo, possibilita ao produtor maior retorno econômico através da comercialização de outros produtos oriundos da diversificação da produção (Dubois, 2004).

O município de Apuí é o terceiro mais desmatado do Amazonas (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2014) e também possui o terceiro maior rebanho do estado com cerca de 156 mil cabeças de gado (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2016). A pecuária no município é realizada de forma extensiva onde muitas áreas de floresta são convertidas em florestas de baixa produtividade. A produção de café no município já teve uma contribuição muito forte. A cafeicultura foi introduzida em Apuí pelos colonos oriundos do sul e do sudeste do Brasil. Colonização essa intensificada a partir da criação do Projeto de Assentamento do Rio Juma no ano de 1982 pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) (Carrero e Feranside, 2011). Porém muitos agricultores do município estão abandonando seus cultivos ou convertendo em áreas de pastagem devido à falta de incentivos, assistência técnica e dificuldades de comercialização.

Considerando a insustentabilidade do processo de corte queima, a falta de disponibilidade e de acesso dos produtores a insumos agrícolas e à alta taxa de desmatamento na região, foi feito, no final de 2013, em algumas propriedades do projeto de assentamento do Rio Juma o consorciamento de cafezais de 3 à 8 anos de idade, com espécies de leguminosas arbóreas e arbustivas visando o aumento da ciclagem de nutrientes, a proteção do solo, o aumento da agrobiodiversidade e por consequência a melhoria da fertilidade do solo.

Assim, esse estudo teve como objetivo avaliar a produção da serapilheira em quantidade e qualidade nutricional e sua influência na fertilidade do solo nas áreas de plantio de café a pleno sol e café em transição para sistemas agroflorestais em comparação com as áreas de florestas remanescente circundante.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo.

O Estudo foi realizado no município de Apuí, localizado no sul do Amazonas, nos limites com o Estado do Pará ao Leste e com o Estado do Mato Grosso ao Sul, situado entre as coordenadas geográficas 06°30' e 08°00' S e de 59° 00' e 60° 30' W. No Amazonas, o município faz fronteira ao norte com o município de Novo Aripuanã e a oeste com Humaitá, mais especificamente às margens da rodovia transamazônica (BR-230); ocupa uma área de 54.245 km² com uma população estimada de 20.648 habitantes (IBGE 2016).

Cerca de 63% da área total do município é constituído por Unidades de Conservação (Carrero *et al.*, 2013) e aproximadamente 30% é ocupada por Projetos de Assentamento da Reforma Agrária, entre eles o Projeto de Assentamento Rio Juma (PARJ), que engloba a maior parte das famílias assentadas na região (Cenamo *et al.*; 2011) e onde estão localizados os Estabelecimentos Rurais (ER) estudados (Figura 1).

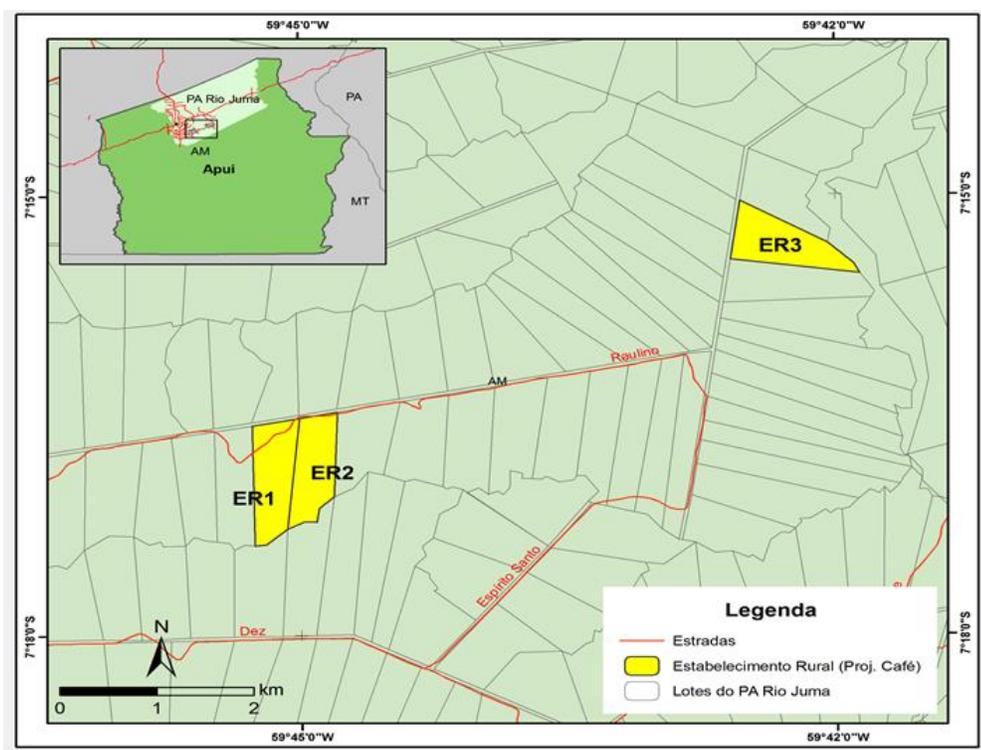


Figura 1: Localização dos 3 Estabelecimentos Rurais - ER estudados. ER1, ER2 e ER3 no Projeto de Assentamento do Rio Juma- Apuí, AM.

A vegetação do município é predominantemente formada por floresta ombrófila densa e aberta com algumas formações de campinas sobre solos arenosos. (RADAMBRASIL, 1978). O solo é predominantemente caracterizado pela presença de Latossolos e Argissolos com predominância de elevada acidez e Al^{+3} , níveis médios e altos de matéria orgânica, níveis baixos de nutrientes (Moreira e Fageria, 2009) e dentro dos estabelecimentos rurais estudados a textura do solo foi caracterizada como muito argilosa (Figueiredo, 2015).

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Tropical de monção (Alvares, 2013). A precipitação média anual está em torno de 2.000 mm. O período chuvoso ocorre entre os meses de janeiro a março, com pico pluviométrico no final de janeiro, e o período seco acontece entre os meses de junho a outubro (Instituto Nacional de Meteorologia e Estatística -INMET, 2016)

Histórico de uso do solo

O estudo foi realizado em áreas de produção familiar, mais especificamente Estabelecimentos Rurais (ER) pertencentes ao Projeto de Assentamento do Rio Juma, onde são desenvolvidos cultivos de café em solos bem drenados de terra firme. Para o estudo foram selecionados três lotes de produtores que apresentam áreas de monocultivo de café, áreas de cultivo de café em transição para Sistemas Agroflorestais (SAF) e florestas remanescentes sobre o mesmo tipo de solo. Para abranger o efeito da sazonalidade no estoque de serrapilheira foram realizadas coletas em três épocas do ano, período chuvoso (final de janeiro), início do período seco (julho) e final do período seco (outubro) de 2015.

O plantio de café (*Coffea canephora*) nas áreas estudadas foi realizado no espaçamento 3x2m, apresentando, hoje, idade entre 5 e 10 anos. Os SAFs foram implantados em dezembro de 2013, onde foram incorporadas espécies florestais e agronômicas em consórcio com o café. A finalidade do plantio consiste em aumentar a biodiversidade nas áreas de cultivo utilizando espécies potenciais para a fixação de nutrientes, aumento da matéria orgânica no solo, da ciclagem de nutrientes, sombreamento, produção madeireira e não madeireira.

As três propriedades rurais selecionados para esse estudo estão avançadas no processo de transição agroflorestal com o cultivo de café. Os produtores foram apoiados pela ONG Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas (IDESAM) através do projeto intitulado “Café em Agrofloresta para o Fortalecimento da Economia de Baixo Carbono em Apuí (Projeto Café)”. Este projeto recomendou e forneceu 2,8 toneladas de calcário dolomítico (93% de PRNT) e 70 kg de superfosfato triplo para cada agricultor aplicar em um hectare de plantio de café. Nessas propriedades, além da implantação dos SAF, o manejo adotado pelos produtores utiliza também outras técnicas agroecológicas, como o enriquecimento com espécies arbóreas florestais, uso de adubação verde, aplicação de biofertilizante foliar e controle alternativo de pragas (Figueiredo, 2015).

As espécies utilizadas para adubação verde foram: *Crotalaria spectabilis* Roth (crotalária), *crotalária juncea* L (crotalária), *Canavalia ensiformes* (L) DC. (Feijão-de-porco) e *Cajanus cajan* (L) Millsp. (guandu), que foram cultivadas nas entrelinhas do café para promover um aumento na quantidade de matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e na fixação biológica de nitrogênio. As espécies arbóreas foram *Inga edulis* Mart. (ingá-cipó), *Gliricidia sepium* (Jacq) Walp. (gliricídia) e *Schizolobium amazonicum* Ducke (paricá). O biofertilizante é produzido nos próprios estabelecimentos rurais à base de esterco, cinzas, leite, açúcar, plantas leguminosas e plantas repelentes. O controle da broca-do-café *Hypothenemus hampei* Ferrari, praga importante para a cultura, ocorre com o uso de armadilhas feitas em garrafas Pet de 2 litros.

As florestas amostradas fazem parte dos limites físicos dos estabelecimentos estudados. São florestas, exploradas seletivamente pelos produtores de maneira subsistente. Porém, anualmente essas florestas são diminuídas, pelo processo de corte e queima e convertidas em áreas de cultivo agrícola ou pecuária.

Delineamento e tratamentos.

Em cada uma das três propriedades estudadas foi demarcada uma área de 1 ha de cultivo de café sob manejo tradicional, uma área de 1 ha de cultivo de café em transição para sistema agroflorestal e uma área de 1 ha floresta remanescente. O Delineamento foi em blocos casualizados com três blocos e três tratamentos.

Para a amostragem do solo e da serrapilheira, foi demarcada uma parcela composta por 15 linhas de café no espaçamento de 3 por 2 metros ao longo de 50 metros de comprimento (45 x 50 m) totalizando 2.250 m² de área. Esta parcela foi subdividida em três sub-parcelas de tamanhos iguais (15 x 50 m), onde foram coletadas as amostras. Foram coletadas 4 amostras de serrapilheira, distantes 10 metros entre si, em cada subparcela, totalizando 108 amostras por coleta (período do ano) e um total de 324 amostras. Para a análise química do solo foram coletadas 4 amostras em cada subparcela, nas camadas 0-5 e 5-10 cm de profundidade, imediatamente abaixo da camada de serrapilheira, totalizando 216 amostras por coleta e um total de 648 amostras. Porém, para determinação química, as 8 amostras de solo, de cada quadrante, de cada subparcela formaram uma amostra composta, totalizando 27 amostras por período de coleta e 81 no total (Figura 3).

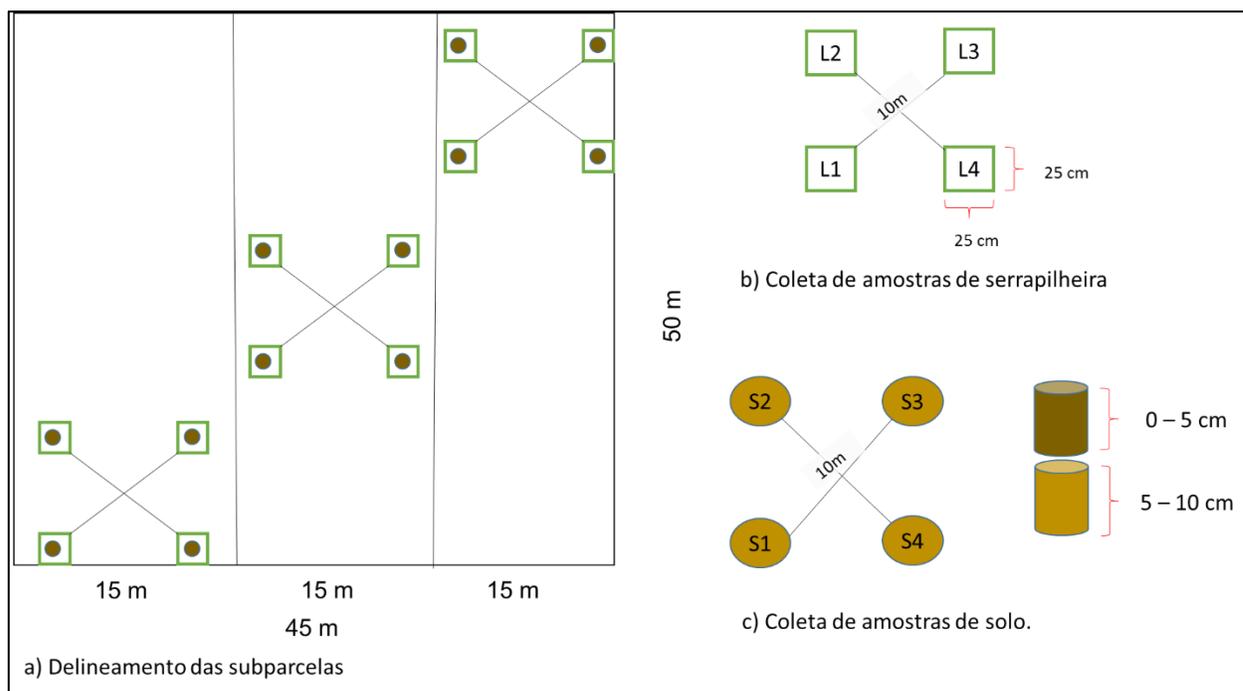


Figura 3: a) Representação do delineamento das subparcelas; (b) coleta de serrapilheira e (c) coleta de solo.

Coleta e preparo das amostras de serrapilheira e de solo para análise química

As amostras de serrapilheira foram coletadas com auxílio de um gabarito de madeira medindo 25 x 25 cm e os excedentes de folhas, galhos e frutos foram cortados com uma faca dentro dos limites do mesmo, até o contato com o solo. O armazenamento foi feito em sacos de papel, identificados segundo a área, parcela, ponto amostral e data, acondicionadas em sacos de fibra e

transportadas para o centro de triagem do INPA, em Manaus, seguindo metodologia descrita por Scoriza et al., (2012). Posteriormente as amostras foram secas ao ar e limpas com pincéis para retirada dos resíduos de solo, em seguida foram secas em estufa de ventilação forçada a 60°C durante 72h, até atingir peso constante, antes de serem pesadas. Após a pesagem as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey a 1mm para serem efetuadas as análises químicas.

As amostras de solo foram coletadas com auxílio de um trado metálico do tipo holandês, em cada ponto foram coletadas duas amostras de solo nas profundidades de 0-5 e 5-10cm, logo abaixo da camada de serrapilheira previamente coletada. Posteriormente amostras foram secas ao ar, destorroadas, e passadas em peneira de 2 mm, obtendo-se assim, a terra fina seca ao ar (TFSA), que foi utilizada para realização das análises químicas.

Análise química da serrapilheira

A análise do material vegetal foi feito no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA – LTSP/INPA. Para determinação dos macro-nutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), foi realizado um processo conhecido por digestão nitro-perclórica (Malavolta et al. 1989). Após a digestão das amostras, as concentrações de cada elemento foram analisadas. As bases K, Ca e Mg e os micronutrientes foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (AAS, 1100 B, Perkin-Elmer, Ueberlingen, Germany) (Anderson e Ingram, 1993). A concentração de P total foi feita por colorimetria na presença de molibdato de amônio e vitamina C (Anderson e Ingram, 1993), e quantificado por espectrofotometria (UV-120-01, Shimadzu, Kyoto, Japan). O Nitrogênio Total foi determinado via digestão sulfúrica pelo método KJELDAHL.

Análise química do solo

As análises de solo também foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do INPA. Os nutrientes do solo foram determinados de acordo com os métodos descritos pela EMBRAPA (1999). O pH do solo foi determinado em H₂O em solução na proporção: 1:2,5.

O P assimilável, K⁺, Fe, Zn e Mn foram extraídos pelo método de extração em duplo ácido (Mehlich I). A determinação do P assimilável foi realizada pelo método de colorimetria, na

presença de molibdato de amônio e vitamina C (Anderson e Ingram 1993), com posterior leitura em espectrofotômetro (UV-120-01, Shimadzu, Kyoto, Japan); o K, Fe, Zn e Mn por espectrofotometria de absorção atômica (AAS, 1100 B, Perkin-Elmer, Ueberlingen, Germany) segundo o método descrito por Anderson e Ingram (1993). As concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} , após extração em KCl 1N (Embrapa, 1999), foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica (AAS, 1100 B, Perkin-Elmer, Ueberlingen, Germany), segundo o método descrito por Anderson e Ingram (1993). O Nitrogênio Total foi determinado via digestão sulfúrica pelo método KJELDAHL e o C determinado pelo método Walkley-Black.

Análise de dados

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa R.

Com o intuito de explorar juntamente todos os parâmetros químicos do solo, aplicou-se a análise de componentes principais (PCA) a partir da tabela de correlação entre as variáveis (dados padronizados). Para testar o conjunto de variáveis, entre os tratamentos, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) aos scores das duas primeiras componentes principais. No intuito de entender melhor estes testes, realizou-se a correlação de Pearson entre as variáveis e as componentes. Na PCA foram selecionadas 13 variáveis: pH, Al^{+3} , C, N, C/N, P, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , Fe, Zn, Mn, Valor de t.

A interpretação individual dos parâmetros químicos do solo e da serrapilheira foi feita utilizando o teste de Kruskal-Wallis ao nível de $P < 0,05$, quando significativo foi aplicado o teste de Mann-Whitney para os contrastes individuais também a 5% de significância ($p < 0,017$).

Para análise das relações entre os teores de nutriente da liteira e as concentrações de nutrientes no solo foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (r), considerando –se que quando o valor de p for menor que 0,05 as correlações são significativas. Foram consideradas correlações: fraca, moderada, forte e muito forte aquelas com valores de: $r < 0,3$; $\leq 0,5$; $\leq 0,7$ e $\geq 0,7$, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do solo em cafezais em monocultivo, em transição para SAF e floresta remanescente.

As duas componentes principais (PC) utilizadas, nas profundidades de 0-10 cm, em média, explicam 63,4% da variabilidade total dos dados para as três épocas do ano, onde a PC1 foi responsável, por 47% da variabilidade e a PC2, 16,4%. A PCA indicou a formação de três grupos distintos, café em monocultivo, café em transição para café agroflorestal e floresta remanescente, que dos três tipos de uso do solo é o que mais se distingue (Figura 4).

Em função da PC1 identificou-se que os solos das áreas avaliadas tendem a se diferenciarem entre si nas três épocas de coleta, sendo a floresta estatisticamente diferente dos dois tipos de cultivo de café em todas as épocas do ano. Já o café em monocultivo se diferenciou estatisticamente do café agroflorestal somente no final da época seca ($p < 0,01$). Em função da PC2 os três solos foram estatisticamente iguais nas épocas final seca e início seca, havendo diferença significativa apenas na época chuvosa, onde o café agroflorestal se diferenciou do café em monocultivo ($p < 0,01$) (tabela 1)

As áreas de floresta apresentam nas três épocas do ano, altos teores de Alumínio trocável e micronutrientes, principalmente Fe. As áreas de café em transição para sistema agroflorestal apresentaram no geral, maiores teores de bases trocáveis e pH mais elevado, conferindo uma menor acidez. Apesar dos dois tipos de cultivo de café apresentarem certo grau de similaridade, há uma tendência de diferenciação.

Resultados que podem indicar que o enriquecimento das áreas de monocultivo de café com espécies florestais e uso de leguminosas está gradativamente contribuindo com a melhoria da fertilidade do solo, e por encontrar-se em fase inicial de implantação, as diferenças ainda são sutis.

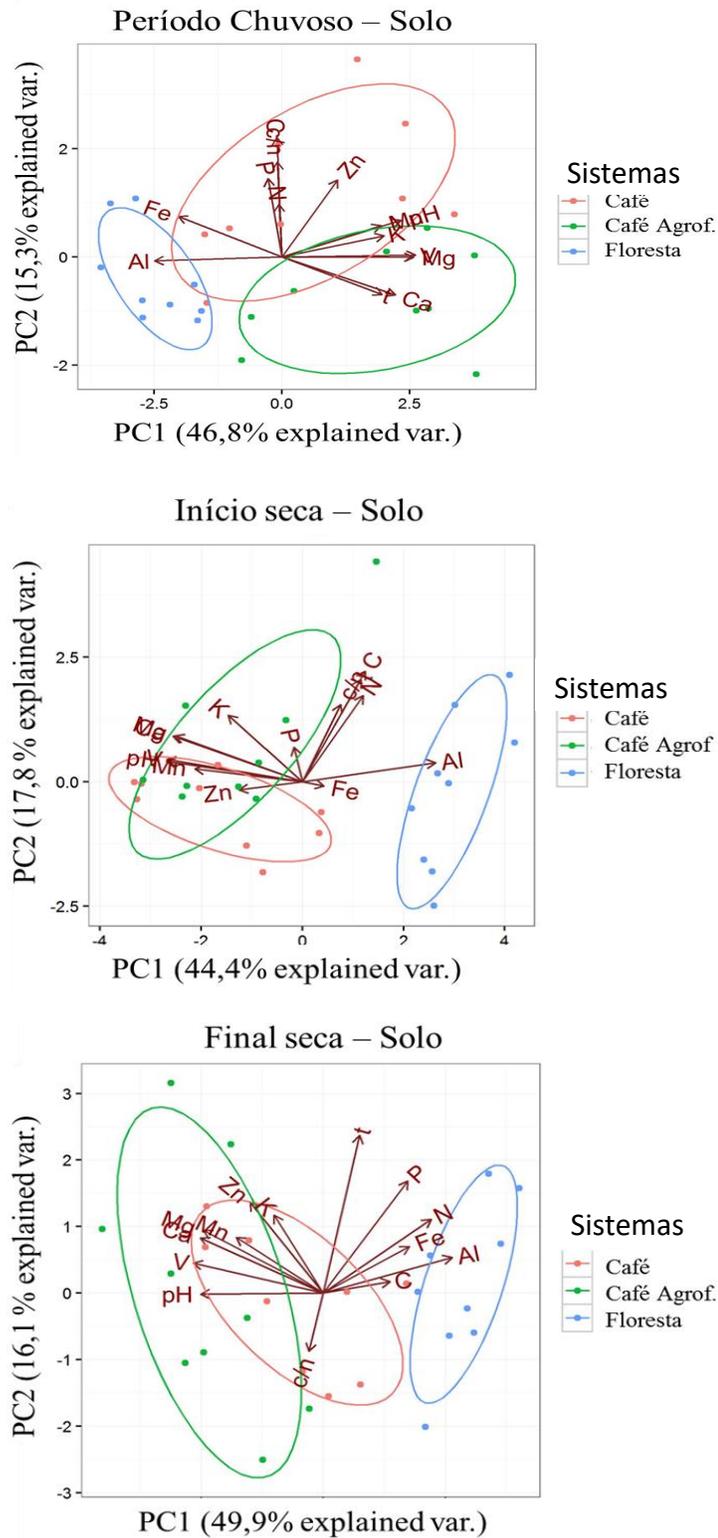


Figura 4: Atributos químicos do solo e as áreas de cultivo de café em monocultivo (café), café em transição para sistema agroflorestal (Café Agrof.) e floresta circundante (floresta), para os três períodos de coleta, na profundidade (0-10cm).

Tabela 1: Comparação entre as variáveis químicas e a componente principal entre os três sistemas de uso do solo, café em monocultivo, café em transição agroflorestal e floresta remanescente, pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

época do ano	Uso do Solo	PC1	PC2
Chuvosa	Café	a	a
	Café agroflorestal	a	b
	Floresta	b	ab
		p-value = 9.307e-05	p-value = 0.005998
Início seca	Café	a	a
	Café agroflorestal	a	a
	Floresta	b	a
		p-value = 0.0001642	p-value = 0.9188
Final seca	Café	b	a
	Café agroflorestal	a	a
	Floresta	c	a
		p-value = 4.063e-05	p-value = 0.1295

Médias seguidas de letras minúsculas nas colunas (entre sistemas) são significativamente diferentes pelo teste U de Mann-Whitney a 95% ($P < 0,017$)

As variáveis que mais se correlacionaram na época chuvosa com a PC1 foram: Mg^{+2} (1), Al^{+3} (-0,92), pH (0,87), Ca^{+2} (0,83), K^{+} (0,75), Fe (-0,75), Mn (-0,73) e t (0,73) e com a PC2 foram: C (0,82), C/N (0,65), N (0,36), Zn (0,53) e P (0,34).

Para o início da época seca as variáveis que mais se correlacionaram com a PC1 foram: pH (-0,97), Al^{+3} (0,95), Ca^{+2} (-0,92), Mg^{+2} (-0,91), Mn (-0,76), K^{+} (-0,53), Zn (-0,45), Fe (0,15) e com a PC2 foram: C (0,80), t (0,74), N (0,62) C/N (0,56) e P (0,25)

No final da época seca as variáveis que mais se correlacionaram com a PC1 foram: Al^{+3} (0,96), Ca^{+2} (0,92), pH (-0,91), Mg^{+2} (-0,89), N (0,80), Fe (0,64), Mn (-0,64), P (0,63), C (0,50) e Zn (-0,55) e com a PC2 foram t (0,86), K^{+} (0,42) e C/N (-0,32).

pH (ÁGUA) E ALUMÍNIO TROCÁVEL

Nas três épocas do ano avaliadas, o solo da floresta se diferenciou significativamente dos outros tipos de uso do solo em relação aos valores de pH. Os solos da florestas foram mais ácidos do que os solos de café em monocultivo ($p < 0,01$) e café agroflorestal ($p < 0,01$). Os solos das áreas de café em transição para sistemas agroflorestais foram menos ácidos, tendendo à uma acidez considerada média por Moreira *et al.*,(2002), exceto no período correspondente ao início da seca

que apresentou elevada acidez. E as áreas de café em monocultivo apresentaram elevada acidez em todas as épocas do ano. Todos os três tipos de uso do solo apresentaram efeito da sazonalidade, sendo que as épocas chuvosa e o final da época seca apresentaram maiores valores de pH do que o Início da seca, época de transição. Para esse critério, o café agroflorestal e o café em monocultivo apresentaram o mesmo comportamento.

Assim como observado para os valores de pH, em todas as três épocas do ano o solo da floresta se diferenciou significativamente dos outros tipos de uso do solo em relação aos valores de alumínio trocável (Al^{+3}). Os solos das florestas foram mais ácidos do que os outros tipos de uso do solo a maior concentração de alumínio nos solos florestais em relação aos solos de café a pleno sol ($p < 0,01$) e café agroflorestal ($p < 0,01$) já era esperada. Segundo critérios estabelecidos por Moreira *et al.*, (2002) a floresta apresentou valores de alumínio considerados de alto a muito altos, o café em monocultivo valores considerados médios a altos, e o café em transição para sistema agroflorestal apresentou valores considerados medianos em relação a toxidez por alumínio.

O principal fator para a elevação do pH e redução de Al nas áreas de plantios deve ser à ação das cinzas resultante do processo de derruba e queima da vegetação, técnica da agricultura amazônica tradicional (Salim, 2012), para instalação dos plantios de café. Como pode-se observar na tabela 2, apesar das áreas de café em monocultivo também apresentarem menor acidez em relação a floresta remanescente circundante as propriedades, esses resultados mostram que a calagem realizada nas áreas de café em transição para sistema agroflorestais influenciou positivamente na redução da acidez natural dos solos que, segundo Sanches e Cochrane (1992) Apud Damatte (2000), atinge mais de 70% dos solos da região. Mesmo resultado foi encontrado por Figueiredo (2015) em estudo realizado na mesma área.

Para o café agroflorestal e café a pleno sol a sazonalidade não influenciou significativamente nas concentrações de alumínio, porém na floresta sim. Obedecendo a ordem decrescente: Início seca >final seca> época chuvosa.

Os valores de pH mais altos em solos sob Sistemas Agroflorestais também foram encontrados em estudo realizado por Menezes et al, (2008) no norte de Rondônia, que comparou solos sob sistemas agroflorestais, com 5 anos e meio de uso agroflorestal, com solos sob floresta

remanescente circundante na profundidade 0-20 e encontrou valores de pH, Ca e Mg mais altos para os primeiros. Segundo o autor, esse valor mais alto é atribuído ao aporte de nutrientes que restaram da queima anterior da floresta. Corroborando com esse os resultados obtidos neste estudo e justificando o pH das áreas de café em monocultivo também serem mais altos que os da floresta mas mais baixos que o café em transição para SAF. Já que nas áreas de SAF além de resíduos de cinzas foi feita a correção da acidez através da calagem.

Tabela 2: Teores de pH (água) e Al^{+3} (média e erro padrão) em três sistemas de uso do solo em três épocas do ano.

pH (água)			
Sistemas de uso do solo	Chuvosa	Início seca	Final Seca
Café Agroflorestal	5.11aA ± 0.14	4.69aB ± 0.08	5.12aA ± 0.09
Café	4.95aA ± 0.10	4.63aB ± 0.09	4.82aAB ± 0.07
Floresta	4.38bA ± 0.04	3.81bB ± 0.04	4.32bA ± 0.07

Al^{+3} (cmol _c Kg ⁻¹)			
Sistemas de uso do solo	Chuvoso	Início seca	Final Seca
Café Agroflorestal	0.61bA ± 0.17	0.90bA ± 0.18	0.58bA ± 0.10
Café	1.02bA ± 0.26	0.88bA ± 0.17	1.10bA ± 0.21
Floresta	1.90aB ± 0.17	2.72aA ± 0.24	2.22aAB ± 0.24

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas linhas (entre períodos) e minúsculas nas colunas (entre sistemas) são significativamente diferentes pelo teste U de Mann-Whitney a 95% ($P < 0,017$)

C, N e relação C/N

Nas três épocas do ano coletadas os valores da relação C/N não apresentaram diferenças significativas entre os três tipos de uso do solo (tabela 3). Valores similares para os valores de relação C/N encontrado neste estudo foram encontrados por Sanches et al.; (1982) Apud Dematte (2000) que estudando solos de floresta de clima tropical na profundidade 0-15 cm encontraram uma relação C/N de 11,3%.

Tanto as concentrações de carbono quanto de nitrogênio foram menores no solo sob sistemas agroflorestais do que em solos sob café em monocultivo e floresta remanescente nas estações chuvosa e final da época seca. No início da época seca houve um aumento nas

concentrações tanto do carbono quanto do nitrogênio nos solos sob sistemas agroflorestais, sendo este último em maior proporção. Como o início da época seca e a estação intermediária entre a época chuvosa e a época seca, pode ser um indicio de maior eficiência na ciclagem de nutrientes no SAF.

Nas áreas de café em transição para café agroflorestal não foram identificadas influencias significativas da sazonalidade nas concentrações de C, já para as áreas de café a pleno sol e floresta remanescente a época chuvosa foi a que apresentou maior concentração e o início da época seca a menor.

Em relação as concentrações de nitrogênio a época chuvosa foi a que apresentou a maior concentração para os solos dos dois tipos de cultivo de café e os solos sob floresta remanescente não apresentaram diferenças estatísticas em relação a sazonalidade. Apesar da pouca diferença entre os sistemas todos apresentam alta concentração de nitrogênio segundo os critérios definidos por Cochrane et al. (1985).

Tabela 3. Teores de C, N e da relação C/N (g kg^{-1}) (média e erro padrão) em três sistemas de uso do solo em três épocas do ano.

Carbono (g kg^{-1})			
Sistemas de uso do solo	Chuvoso	Início seca	Final Seca
Café agroflorestal	27.67bA \pm 1.29	25.91aA \pm 2.48	22.97aA \pm 1.55
Café	34.71aA \pm 1.48	22.02aB \pm 0.64	24.50aB \pm 1.32
Floresta	31.14abA \pm 1.26	25.98aB \pm 1.15	27.61aAB \pm 2.19
Nitrogênio (g kg^{-1})			
Sistemas de uso do solo	Chuvoso	Início seca	Final Seca
Café agroflorestal	2.20bA \pm 0.07	2.11baA \pm 0.11	1.78bB \pm 0.04
Café	2.47aA \pm 0.06	1.94bB \pm 0.07	1.95abB \pm 0.10
Floresta	2.31abA \pm 0.07	2.21aA \pm 0.10	2.26aA \pm 0.08
Relação C/N			
Sistemas de uso do solo	Chuvoso	Início seca	Final Seca
Café agroflorestal	12.60aA \pm 0.61	12.14aA \pm 0.60	13.00aA \pm 1.01
Café	14.11aA \pm 0.75	11.41aB \pm 0.30	12.58aA \pm 0.34
Floresta	13.56aA \pm 0.56	11.80aAB \pm 0.43	12.14aA \pm 0.43

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas linhas (entre períodos) e minúsculas nas colunas (entre sistemas) são significativamente diferentes pelo teste U de Mann-Whitney a 95% ($P < 0,017$)

Apesar de uma das características do sistemas agroflorestais ser o aumento de matéria orgânica no solo nas áreas estudadas esse efeito não foi encontrado, provavelmente devido ao período inicial de implantação dos SAFs.

Macronutrientes (P, K⁺, Ca²⁺ Mg²⁺)

Os valores médios das concentrações de macronutrientes encontrados no solo, nos três períodos coletados são apresentados na tabela 4, conjuntamente com os teste de medianas e o erro padrão.

Nas três épocas do ano o café agroflorestal e o café em monocultivo, apresentaram as concentrações de nutrientes na seguinte ordem: P>Ca²⁺>Mg²⁺>K⁺. Já a área de floresta apresentou uma pequena diferenciação relativa principalmente à menor concentração de Ca²⁺. Apresentando a ordem P>Mg²⁺=K⁺>Ca²⁺ na época chuvosa, e P>K⁺>Mg²⁺>Ca²⁺ no início e no final da época seca. Mostrando que de uma maneira geral, a ordem de concentração de nutrientes nos solos não são fortemente influenciados pela sazonalidade.

Em média as áreas de floresta apresentaram menores concentrações de Ca²⁺, K⁺ e Mg²⁺ do que os dois tipos de cultivo de café para as três épocas do ano. Os maiores teores desses nutrientes nessas áreas são devidos a queima da vegetação para implantação dos plantios de café e principalmente ao uso de calagem no caso do café agroflorestal Já em relação ao P a área de floresta apresentou uma média maior em relação aos outros tipos de uso do solo, pois houve um aumento significativo na concentração do referido nutriente no final da época seca, se diferenciando assim tanto café em monocultivo (p < 0,01) quanto do café agroflorestal (p < 0,01). Esses resultados mostram que a aplicação de 50 kg de Superfosfato Triplo por hectare, não foi suficiente para elevar o teor de P disponível no solo do plantio de café agroflorestal.

O Café em monocultivo não se diferenciou estatisticamente do café agroflorestal em nenhuma das épocas de coleta, exceto o Mg²⁺ que foi estatisticamente maior na área de café agroflorestal em relação ao café em monocultivo no final da época seca (p = 0.014)

Segundo critérios de interpretação de análises do solo para fins de avaliação de fertilidade proposto por Moreira et al; (2002) os solos sob sistemas agroflorestais apresentaram baixa

concentração de P, baixa concentração de K^+ , concentração média Ca^{+2} e Mg^{+2} . Enquanto que os solos sob monocultivo de café apresentaram baixas concentrações de todos os quatro macronutrientes. Esses resultados mostram uma tendência de melhoria na fertilidade do solo nos cultivos de café em transição para sistemas agroflorestais.

Tabela 4: Teores de P ($mg\ kg^{-1}$) K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} ($g\ kg^{-1}$) (média e erro padrão) em três sistemas de uso do solo em três épocas do ano (n=9).

Sistema de uso do solo	Chuvoso	Início seca	Final Seca
P ($mg\ kg^{-1}$)			
Café agroflorestal	5.00aA \pm 0.52	4.33aA \pm 0.18	3.94bA \pm 0.55
Café	6.00aA \pm 0.75	4.50aA \pm 0.41	4.35bA \pm 0.37
Floresta	5.30aAB \pm 0.39	4.20aB \pm 0.74	6.13aA \pm 0.55
K^+ ($cmol_c\ kg^{-1}$)			
Café agroflorestal	0.27aA \pm 0.03	0.20aAB \pm 0.03	0.18aB \pm 0.029
Café	0.28aA \pm 0.04	0.16aB \pm 0.04	0.17aB \pm 0.03
Floresta	0.19aA \pm 0.01	0.13aB \pm 0.01	0.15aB \pm 0.01
Ca^{+2} ($cmol_c\ kg^{-1}$)			
Café agroflorestal	2.08aA \pm 0.70	1.02aA \pm 0.11	1.04aA \pm 0.11
Café	1.11aA \pm 0.39	0.90aA \pm 0.16	0.69aA \pm 0.17
Floresta	0.06bB \pm 0.00	0.07bAB \pm 0.00	0.10bA \pm 0.01
Mg^{+2} ($cmol_c\ kg^{-1}$)			
Café agroflorestal	1.2aA \pm 0.15	0.56aB \pm 0.04	0.58aB \pm 0.06
Café	0.74aA \pm 0.21	0.45aAB \pm 0.07	0.32bB \pm 0.07
Floresta	0.19bA \pm 0.01	0.11bB \pm 0.01	0.12cB \pm 0.01

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas linhas (entre períodos) e minúsculas nas colunas (entre sistemas) são significativamente diferentes pelo teste U de Mann-Whitney a 95% ($P < 0,017$)

Valores mais elevados de Mg^{2+} e K^+ no período chuvoso indicam que o enriquecimento da solução do solo é proveniente da lixiviação dos produtos resultantes da mineralização da matéria orgânica (Ferreira et al, 2006). Já que a maior deposição de serrapilheira ocorre geralmente nos períodos secos, mas a sua decomposição é mais acelerada nos períodos chuvosos (Shubart et al, 1989).

QUANTIFICAÇÃO DA SERRAPILHEIRA ACUMULADA NO SOLO

A média de serrapilheira estocada nos três tipos de uso do solo, coletadas nas três épocas do ano, foi de 5,02 Mg há⁻¹ nos cafezais a pleno sol, 4,38 Mg há⁻¹ nos cafezais em transição para sistemas agroflorestais e 5,47 Mg há⁻¹ nas áreas de floresta remanescente, obedecendo a ordem: Floresta>café>café agroflorestal. Mostrando que a floresta teve o maior acúmulo de serrapilheira ao longo do ano, seguido do café a pleno sol e do café agroflorestal, corroborando com um estudo feito por Lima (2010), no qual a Floresta nativa proporcionou maior aporte de biomassa no solo em relação aos outros agroecossistemas estudados com idade inferior a 10 anos. O café agroflorestal pode ter apresentado o menor acúmulo médio de serrapilheira em relação ao café em monocultivo por ainda não ter havido efeito da introdução de espécies de leguminosas arbóreas na produção e deposição da serrapilheira. Ou uma possível ciclagem mais eficiente no sistema, já que um dos fatores que regulam a quantidade de serrapilheira acumulada no solo é a quantidade de material que cai da parte aérea das plantas bem como sua taxa de decomposição (Valentini, 2004), que por sua vez é influenciada pela diversidade e qualidade do material vegetal aportado, bem como por fatores ambientais como umidade e temperatura (tabela 3).

Os valores da massa de serrapilheira acumulada para a área de floresta remanescente corrobora com trabalho realizado por Sanches et al (2009) que encontrou uma média de 3,20 a 9,43 Mg ha⁻¹ em áreas de floresta tropical de transição, apresentando-se de forma sazonal, com forte influência da precipitação. Trabalhos em floresta tropicais de outros países também apresentam resultados semelhantes, como o realizado por Wieder & Wright (1995) Apud Sanches et al (2009) que encontraram valores variando de 4,31 a 10,05 Mg ha⁻¹. Em ambos os trabalhos os maiores valores são encontrados nos períodos secos e os menores nos períodos úmidos.

Tabela 3. Massa de serrapilheira acumulada (Mg ha⁻¹, média e erro padrão) nos três tipos de uso do solo, em três épocas do ano

Uso do solo	Massa de serrapilheira acumulada (Mg ha ⁻¹)		
	Chuvoso jan.	Início seca julh.	Final Seca out.
Café agroflorestal	4.73aA ± 0.56	4.02aA ± 0.38	4.40bA ± 0.26
Café em monocultivo	6.43aA ± 0.65	3.83aB ± 0.35	5.34abA ± 0.39
Floresta	5.52aA ± 0.55	5.15aA ± 0.53	5.74aA ± 0.27

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas linhas (entre períodos) e minúsculas nas colunas (entre sistemas) são significativamente diferentes pelo teste U de Mann-Whitney a 95% (P < 0,017).

No período chuvoso e no início da seca o estoque de serrapilheira não diferiu significativamente entre os tipos de uso do solo. No final da época seca a floresta diferiu significativamente do café agroflorestal ($p < 0,01$), sendo que na floresta o acúmulo foi maior, seguindo a ordem floresta>café em monocultivo >café agroflorestal.

Na área de café em monocultivo, a serrapilheira acumulada no início da estação seca, diferiu significativamente tanto da estação chuvosa ($p < 0,01$) quanto da do final da estação seca ($p = 0.01074$), apresentando um menor acúmulo no início do período seco e o maior acúmulo no período chuvoso. Para o café agroflorestal não houve resultado significativo em relação à época do ano, porém apresenta a mesma tendência em menor deposição de serrapilheira no início da época seca e maior no período chuvoso.

Na área de floresta, a massa de serrapilheira foi maior no final da época seca e menor no início. Apesar de vários trabalhos realizados mostrarem que o aporte de serrapilheira em florestas tropicais úmidas sofre influência da sazonalidade, com maior queda de serrapilheira na estação seca (Luizão e Schubart, 1986, 1987; Luizão, 1989; Silva *et al.*; 2009), para a serrapilheira acumulada em áreas de floresta, este estudo não apresentou diferenças significativa entre os períodos seco e chuvoso. Corroborando com estudo realizado por Silva *et al.*; (2009), que estudando o acúmulo de serrapilheira em floresta de transição Amazônia/Cerrado, encontrou um acúmulo de serrapilheira variando entre $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $6,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, com o pico de acúmulo no período seco e menor acúmulo no período chuvoso, porém sem diferenças estatisticamente significativas.

Com o objetivo de quantificar o acúmulo de serrapilheira, bem como os macronutrientes e o carbono orgânico na Floresta Estacional Semidecidual Submontana, localizada em Cachoeiro de Itapemirim, ES. Godinho (2014) observou que o acúmulo de serrapilheira mostrou-se sazonal, com maiores acúmulos, ocorrendo no final da estação seca e de menores temperaturas do ar (Dez/09, Jan/10, Set/10 e Out/10), contendo em média $5,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de serrapilheira acumulada. O Cálcio foi encontrado em maior teor e conteúdo, sendo o conteúdo médio de macronutrientes contidos na serrapilheira de $293,59 \text{ kg ha}^{-1}$. Os teores médios de macronutrientes na serrapilheira acumulada apresentaram a ordem decrescente: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$.

Caldeira et al. (2008) relatam que a quantidade de serrapilheira sobre o solo varia em função da composição de espécies, da intensidade da cobertura florestal, do estágio sucessional, da idade, da época da coleta, do tipo de floresta e do local. Além desses fatores, outros como condições edafoclimáticas, sítio, sub-bosque, manejo silvicultural, proporção de copa, bem como taxa de decomposição e distúrbios naturais, como fogo e ataque de insetos, ou artificiais, como remoção da serrapilheira e cultivos, ocorridos na floresta ou no povoamento, também influenciam no acúmulo de serrapilheira.

TEORES DE MACRONUTRIENTES NA SERRAPILHEIRA ACUMULADA

Os valores médios dos teores de macronutrientes encontrados na serrapilheira acumulada, nos três períodos coletados são apresentados na tabela 6. Os teores dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg na serrapilheira acumulada no solo, seguiu a ordem $N > Ca > K > Mg > P$ para os três tipos de uso do solo. Silva 2014, estudando deposição de serrapilheira em área de floresta primária encontrou a ordem $Ca > Mg > K > P$.

Nitrogênio (N)

Apesar da introdução de leguminosas arbóreas e adubação verde nas áreas de cultivo de café em transição para sistemas agroflorestais, não houve diferença significativa entre os três tipos de uso do solo e nem entre os períodos de coleta em relação aos teores de nitrogênio da serrapilheira. No café em transição para Sistema Agroflorestal esse padrão pode ser resultado do estágio inicial de implantação do sistema (tabela 2). Comportamento parecido, em relação à época de coleta, foi encontrado em estudo realizado na floresta nacional do Tapajós no Pará, por Silva (2014), onde a concentração de nitrogênio na serrapilheira não apresentou correlação significativa com a precipitação e nem com a temperatura.

Fósforo (P)

No período chuvoso, o teor de fósforo na serrapilheira acumulada foi estatisticamente igual nos três tipos de uso do solo. No início da seca a floresta remanescente apresentou um menor teor de P em relação ao café em pleno sol ($p < 0,01$), e o café agroflorestal ($p < 0,01$), porém entre os dois tipos de cultivo de café a diferença não foi significativa. No período correspondente ao final

da época seca, os teores de fósforo da serrapilheira acumulada na área de floresta remanescente não se diferenciou significativamente da área de café em monocultivo, mas diferiu do café agroflorestal ($p < 0,01$), já os teores de fósforo na serrapilheira do café agroflorestal foi estatisticamente igual ao do café em monocultivo. Em nenhum dos períodos do ano amostrados houve diferenciação significativa no teor de fósforo no solo entre os dois sistemas de cultivo de café. Já os teores de fósforo nas área de floresta remanescente foram sempre menores em relação aos outros dois usos do solo.

Em todos os três tipos de uso do solo o teor de fósforo foi significativamente menor na época seca, mostrando que ele sofre influência da sazonalidade (). Silva, 2014, em seu estudo, não encontrou correlação entre os teores de fósforo na serrapilheira aportada em floresta de terra firme com o período de coleta do ano. Os teores de fósforo dos dois cultivos de café obedeceram a ordem: Início seca>chuvoso>final seca, não se diferenciando entre si.

Potássio (K)

Os teores médios de potássio na serrapilheira acumulada nas três épocas de coleta seguiram a ordem decrescente: café agroflorestal>café a pleno sol>floresta remanescente. Apesar de não terem se diferenciado estatisticamente entre si, o café agroflorestal apresentou maior teor de potássio na serrapilheira acumulada em todas as épocas do ano, em relação ao café em pleno sol. Nas épocas chuvosa e no final da época seca os teores de potássio na serrapilheira acumulada na floresta adjacente foram significativamente menores em relação ao café a pleno sol ($p < 0,01$), e café agroflorestal ($p < 0,01$) No início da época seca o teor de potássio na floresta foi estatisticamente menor do que no café agroflorestal ($p < 0,01$), e igual ao café em monocultivo.

O teor de potássio na serrapilheira acumulada nos três tipos de uso do solo também sofreu influência da sazonalidade, todos apresentando um maior teor de potássio nas estações mais secas e um menor teor na estação chuvosa.

A alta variabilidade dos teores de Potássio na serrapilheira, segundo Pagano e Durigan (2000), entre as épocas de avaliação guarda relação com a variação da precipitação pluviométrica, o que se explica pela sua alta suscetibilidade à lixiviação via lavagem de folhas e de serrapilheira, que decorrem do fato de o mesmo não participar de compostos orgânicos, ocorrendo na forma solúvel ou adsorvido no suco celular (MARSCHNER, 1997).

Cálcio (Ca)

Os teores médios de cálcio na serrapilheira acumulada nas três épocas de coleta seguiram a ordem decrescente: café agroflorestal > café a pleno sol > floresta remanescente. Em todas as épocas do ano os teores de Ca na serrapilheira acumulada na floresta remanescente foram significativamente menores em relação aos dois outros tipos de uso do solo: Café em monocultivo e café agroflorestal ($p < 0,01$). No final do período seco, os teores de Ca na serrapilheira acumulada das áreas café em transição para SAF foram significativamente maiores ($p < 0,01$) do que no café em monocultivo.

O teor de Ca na serrapilheira acumulada para a área de floresta remanescente não apresentou diferenças significativa em relação ao período de coleta, corroborando com o trabalho de Silva (2014) que estudando deposição de serrapilheira em florestas de terra firme, não apresentou correlação positiva do Ca na serrapilheira com a precipitação e temperatura.

Já as áreas de café agroflorestal e café a pleno sol, os teores de Ca foram significativamente diferentes nas épocas do ano, sofrendo influência da sazonalidade, ambos apresentando maiores valores nos períodos secos e menores valores no período chuvoso.

No trabalho realizado por Godinho (2014) o macronutriente que apresentou o maior teor médio foi o Cálcio (29,55 g kg⁻¹), pelo fato do mesmo ser um componente estrutural das células do tecido vegetal, tendendo assim a ser um dos últimos a ser liberado para o solo via decomposição da serrapilheira. Segundo Clevelário Júnior (1996), o enriquecimento da serrapilheira em Cálcio pode ser decorrente de uma liberação mais lenta deste elemento pelo material recém caído, da retranslocação de outros elementos antes da abscisão das folhas, da redução da massa das folhas antes da abscisão e/ou consequência da retenção de Cálcio contido na transprecipitação (chuva que atravessa o dossel) pela serrapilheira.

Magnésio (Mg)

Os teores médios de Mg na serrapilheira acumulada nas três épocas de coleta também seguiram a ordem decrescente: café agroflorestal > café em monocultivo > floresta remanescente. Em todas as épocas do ano os teores Mg na serrapilheira acumulada na floresta remanescente foram significativamente menores em relação aos dois outros tipos de uso do solo: Café em monocultivo e café agroflorestal ($p < 0,01$).

Na época chuvosa chuvosa ($p < 0,01$) e no final da época seca ($p < 0,01$), os teores de Mg na serrapilheira acumulada das áreas café em transição para SAF foram significativamente maiores do que nos café em monocultivo, já no início da época seca eles não se diferenciaram significativamente entre si.

O teor de Mg na serrapilheira acumulada para a área de café em monocultivo não sofreu influência da sazonalidade enquanto que na área de café agroflorestal foi significativamente menor no período chuvoso em relação ao final do período seco ($p < 0,01$), mas não se diferenciou significativamente do início do período seco ($p < 0,01$). O mesmo padrão foi encontrado para a área de floresta remanescente que apresentou teor de Mg significativamente menor no período chuvoso em relação ao final do período seco ($p < 0,01$), mas não se diferenciou significativamente do início do período seco ($p < 0,01$). Para silva, 2014 o magnésio também não apresentou correlação com a precipitação ou temperatura.

Os teores de macronutrientes entre os dois sistemas de cultivo de café, apesar de nem sempre estatisticamente diferente, foram sempre maiores nas áreas de café em transição para sistemas agroflorestais, mostrando que, apesar das diferenças não serem de maior expressividade estão acontecendo e, ou longo do tempo, tendem a aumentar, segundo quanto mais maduro for o SAF maior será sua eficiência na melhoria da qualidade dos solos.

Os dados observados neste trabalho corroboram com trabalho realizado por Vital et al, (2004) em que estudando uma floresta estacional semidecidual observou uma maior transferência de cálcio e nitrogênio nas estações mais secas com uma tendência a diminuição nas estações mais chuvosas. Os mesmos autores observaram que para fósforo e potássio as maiores taxas de transferências ocorreram no mês de outubro, com a chegada das primeiras chuvas. O potássio e o magnésio são os elementos que apresentam maiores variações temporais em suas concentrações na liteira, sendo o fósforo mais estável.

Tabela 6: Teores de de N, P, K, Ca e Mg (média e erro padrão) na serrapilheira estocada nos três tipos de uso do solo, em cada época do ano.

N (g Kg ⁻¹)			
Uso do solo	Chuvoso	Início seca	Final Seca
Café Agroflorestal	14.64aA ± 0.52	15.36aA ± 0.47	14.32aA ± 0.31
Café em monocultivo	14.97aA ± 0.51	15.95aA ± 0.59	15.22aA ± 0.51
Floresta Primária	14.57aA ± 0.59	15.22aA ± 0.35	15.28aA ± 0.32
P (g Kg ⁻¹)			
Uso do solo	Chuvoso	Início seca	Final Seca
Café Agroflorestal	0.52aA ± 0.03	0.55aA ± 0.03	0.44aB ± 0.04
Café	0.46aB ± 0.02	0.56aA ± 0.02	0.35abC ± 0.02
Floresta	0.46aA ± 0.02	0.44bA ± 0.02	0.31bB ± 0.02
K (g kg ⁻¹)			
Uso do solo	Chuvoso	Início seca	Final Seca
Café Agroflorestal	2.90aB ± 0.41	5.02aA ± 0.63	4.78aA ± 0.56
Café	2.13aB ± 0.27	4.01abAB ± 0.75	4.05aA ± 0.43
Floresta	1.44bC ± 0.21	2.45bB ± 0.22	2.82bA ± 0.12
Ca (g Kg ⁻¹)			
Uso do solo	Chuvoso	Início seca	Final Seca
Café Agroflorestal	12.39aB ± 0.51	14.85aA ± 0.71	15.05aA ± 0.67
Café	10.88aB ± 0.64	14.25aA ± 0.67	11.56bB ± 0.84
Floresta	4.69bA ± 0.45	5.30bA ± 0.41	5.08cA ± 0.35
Mg (g Kg ⁻¹)			
Uso do solo	Chuvoso	Início seca	Final Seca
Café Agroflorestal	2.70aB ± 0.11	2.48aB ± 0.11	3.34aA ± 0.10
Café	2.30bA ± 0.15	2.36aA ± 0.14	2.58bA ± 0.11
Floresta	1.35cB ± 0.07	1.26bB ± 0.06	1.98cA ± 0.07

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas linhas (entre períodos) e minúsculas nas colunas (entre sistemas) são significativamente diferentes pelo teste U de Mann-Whitney a 95% (P < 0,017)

Em análise comparativa estudando a quantidade e a qualidade de serrapilheira produzida em cafezais cultivados em sistemas agroflorestais e em monocultivo na Zona da Mata em Minas Gerais, Campanha (2007) observou que o SAF produziu a maior quantidade de serrapilheira e

apresentou um teor mais elevado na maioria dos nutrientes, corroborando com os dados encontrados neste trabalho.

INFLUÊNCIA DA SERRAPILHEIRA NAS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES NO SOLO

As correlações entre os teores de nutrientes da serrapilheira e os aspectos de fertilidade solo são apresentadas na tabela 7. Onde os elementos do solo que se correlacionaram positivamente ou negativamente com os teores de nutrientes encontrados na serrapilheira serão descritos conforme seu grau de correlação.

Tabela 7: Correlação (r de sperman) entre os teores de nutrientes da serrapilheira acumulada e as concentrações de nutrientes no solo.

SOLO	Serrapilheira								
	estoque	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Zn	Mn
pH	-	0.05	0.30	0.62	0.53	0.07	-0.03	-0.24	-0.32
C	0.16	-0.04	-0.02	-0.26	-0.20	-0.13	0.19	0.11	-0.08
N	0.10*	-0.03	0.11	-0.25	-0.24	-0.14	0.25	0.12	-0.02
Al	0.11*	-0.10	-0.40	-0.68	-0.45	-0.07	-0.06	0.23	0.32
P	-	-0.17	-0.18	-0.40	-0.15	0.03	-0.15	0.09	0.12
Ca	-0.11	0.11	0.41	0.70	0.52	0.16	0.01	-0.22	-0.31
Mg	-0.10*	0.04	0.44	0.54	0.44	0.07	0.07	-0.21	-0.40
K	0.13	0.05	0.30	0.20	0.12	0.38	0.04	-0.31	-0.43
Fe	-	-0.03	-0.34	-0.34	-0.11	0.16	-0.34	0.15	0.24
Zn	-0.06	-0.03	0.25	0.22	0.15	-0.26	0.11	-0.08	-0.23
Mn	-0.13	0.08	0.33	0.60	0.43	0.13	-0.03	-0.18	-0.13
SB	-0.10*	0.10	0.45	0.65	0.48	0.12	0.06	-0.24	-0.35
CTC	-	-0.01	0.25	0.18	0.10	0.02	0.16	-0.11	-0.14

* Valores à 95% de significância. Todos os outros valores à 99% de significância

As concentrações de Ca e o Mg da serrapilheira foram as variáveis que se correlacionaram mais fortemente com os nutrientes do solo. A concentração de Ca na serrapilheira teve uma forte correlação positiva com o pH do solo, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn e SB e uma forte correlação negativa com o Al^{+3} . Já as concentrações de Mg na serrapilheira apresentou uma forte correlação positiva com o pH e os teores de Ca^{2+} do solo. A concentração de Ca da serrapilheira também se correlacionou de maneira negativa e modera com o teor de P do solo e de maneira negativa e moderada com o teor de Fe.

As concentrações de P, K, Fe, Zn e Mn também apresentaram correlações consideradas neste trabalho como moderadas em relação aos teores de nutrientes do solo. As concentrações de P se correlacionaram positivamente com o pH e os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e SB e negativamente com Al^{3+} e Fe. Já as concentrações de K se correlacionaram positivamente somente com o próprio teor de K^+ do solo. A concentração de Fe da serrapilheira se correlacionou negativamente com a concentração de Fe no solo. A concentração de Zn na serrapilheira se correlacionou negativamente com os teores de K^+ do solo e por fim a concentração de Mn se correlacionou positivamente com os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e a SB do solo e negativamente com o Al^{3+} .

Tanto o estoque de serrapilheira quanto a concentração de N na mesma não apresentaram correlações com os teores de nutrientes do solo.

A concentração dos nutrientes transferidos ao solo por meio da deposição de liteira são muito variáveis entre as florestas tropicais e dependem de inúmeros fatores, tais como, condições climáticas e nutricionais do solo e das espécies vegetais, dentre outros Silva, 2014)

Conclusão

- 1) Os Resultados mostram que apesar da quantidade de serrapilheira entre os sistemas de cultivo de café não serem estatisticamente diferentes, houve uma tendência de aumento da qualidade nutricional da serrapilheira nos cafezais em transição agroflorestal
- 2) Os cafezais em transição agroflorestal, por estarem em sua fase inicial, ainda não proporcionam matéria orgânica o suficiente para aumentar a fertilidade do solo.
- 3) A deposição de serrapilheira influenciou as concentrações de nutrientes do solo, principalmente em relação aos nutrientes Ca e Mg

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfaia, S. S. ; Martel, J. H. I. ; Clement, C.r. . Desenvolvimento e Avaliação de Sistemas Agroflorestais para a Amazônia.. In: MCT. (Org.). *Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil, Subprograma de Ciência e Tecnologia. Resultados* (Fase Emergencial e Fase 1). Brasília, DF: MCT, Secretária da Ciência e Tecnologia., 1999, v. , p. 249-263

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Moraes, G., leonardo, J.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013

Caldeira, M. V. W.; Vitorino, M. D.; Schaadt, S. S.; Moraes, E.; Balbinot, R. 2008. Quantificação de serrapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68.

Campanha, Mônica Matoso et al . Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. *Rev. Árvore*, Viçosa , v. 31, n. 5, p. 805-812, Oct. 2007 .

Carrero, G. C.; Nogueira O. L. M.; Barros, H. H. D.; Cenamo, M. C.; Soares, P. G.; Pavan, M. N. 2013. Análise de Mudança de Uso da Terra e Estrutura de Governança Ambiental nos Municípios do Profloram. *IDESAM*, Manaus-AM, 88p.

Carrero, G.C.; Fearnside. P.M. 2011. Forest clearing dynamics and the expansion of landholdings in Apuí, a deforestation hotspot on Brazil's Transamazon Highway. *Ecology and Society* 16(2): 26.

Cenamo, M. C.; Carrero, G. C.; Soares, P. G. 2011. Estudo de oportunidades para a região sul do Amazonas. 1a ed. *IDESAM*, Série: Relatório Técnico, 56p.

Dash, S. S., and M. K. Misra. "Studies on hill agro-ecosystems of three tribal villages on the Eastern Ghats of Orissa, India." *Agriculture, ecosystems & environment* 86.3 (2001): 287-302.

Dematte, J.L.I. Solos. In: Salati, E.; Absy, M.L; Victoria, R.L. (Ed). *Amazônia: Um ecossistema em transformação*. INPA, 2000. Manaus:. Cap 6, p. 119-162.

Dubois, J.C.L. Biodiversidade de SAFs. 2004. Disponível em <http://www.rebraf.org.br>. Acesso em 12/08/2016

Dubois, J.C.L. *Manual Agroflorestal para a Amazônia*. Vol.1. Rio de Janeiro: REBRAf. 228p. 1996.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

Fearnside, P. M. A vulnerabilidade da floresta amazônica perante as mudanças climáticas. *Oecologia Brasiliensis*, v. 13, n. 4, p. 609-618, 2009.

Fearnside, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates, and Consequences. *Conservation Biology*, v. 19, p. 680-688, 2005

Figueiredo, G. V. 2015. *Contribuição da calagem e adubação fosfatada na transição de cafezais para sistema agroflorestal no município de Apuí, - Amazonas*. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, Manaus, Amazonas. 31pp.

Hernández G., O.; Beer, J.; Platen, H. Von. Rendimiento de café caturra, producción de madera y análisis financiero (*Cordia alliodora*) de plantaciones con diferentes densidades de sombra en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 4 (13): 8 – 13 1997.

Herrera, R.; Jordan, C.F.; Klinge, H.; Medina, E. 1978. Amazon ecosystems: Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. *Interciência*, 3: 223-232.

Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística – IBGE, 2016. Disponível em <http://cod.ibge.gov.br/ANU>. Acesso 03 de julho de 2016.

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016. (Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>) Acesso em Julho de 2016.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. PROJETO PRODES. 2014. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>. Acesso 9 de junho de 2016

Leakey, R.R.B. 1996. Definition of agroforestry revisited. *Agroforestry Today*, V.8 (1): 5 – 7.

Lima, S. S.; Leite, L. F. C.; Aquino, A. M.; Oliveira, F. C.; Castro, A. A. J. F. 2010. Serapilheira e teores de nutrientes em argissolo sob diferentes manejos no norte do Piauí. *Revista Árvore*, 34: 75-84.

Luizão, F.J.; Schubart, H.O.R 1986. Produção e decomposição de liteira em floresta de terra firme da Amazônia Central. *Acta Limnol. Brasil*, 1:575:600.

Luizão, F.J. 1989. Litter production and mineral element input to the forest floor in a central Amazonian forest. *Geol. Journal*, 19:407-417

Luizão, R.C.C.; Luizão, F.J.; Paiva, R.Q.; Monteiro, T.F.; Souza, L.S. & Kruijt, B. 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Change Biology*, 10: 592-600

Menezes, J. M. T., van Leeuwen, J., Valeri, S. V., Cruz, M. C. P. D., & Leandro, R. C. 2008. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 893-898.

Moreira, A.; Fageria, N. K. 2009. Soil chemical attributes of Amazonas state, Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40: 2912-2925

Pedroso Junior, Nelson N.; Murrieta, R. S. S.; Adams, C. 2008. A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciênc. hum.*, Belém, v. 3, n. 2, p. 153-174,

Quesada, C. A., Lloyd, J., Anderson, L. O., Fyllas, N. M., Schwarz, M., and Czimczik, C. I.: Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences*, 8, 1415-1440, doi:10.5194/bg-8-1415-2011, 2011.

RADAMBRASIL, Projeto. 1978. Folha no. SB 20 Purus: geologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Ricci, M.S.F.; Costa, J.R.; Pinto, A.N.; Santos, V.L.S.S. Cultivo Orgânico do Café (*Coffea arabica*) Nos Sistemas a Pleno Sol e Sombreado. *Revista Brasileira de Agroecologia*, V. 2, n.1, fev. 2007.

SANCHES, Luciana et al. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 183-189, Apr. 2009

SANCHEZ, P. A.; BANDY, D. E.; VILLACHICA, J. H.; NICHOLAIDES, J. J. Amazon Basin soils: management for continuous crop production. *Science*, v. 216, p. 821-827, 1982

Schubart, H.; Franken, W.; Luizão, F. 1984. Uma floresta sobre solos pobres. *Ciência Hoje*, 2(10): 26-32.

Scoriza, R. N.; Pereira, M. G.; Pereira, G. H. A.; Machado, D. L.; Silva, E. M. R. Métodos para coleta e análise de serrapilheira aplicados a ciclagem de nutrientes. *Série Técnica (Floresta e Ambiente)*, 2(2): 01-18, 2012.

Serrão, E. A.; Nepstad, D.; Walker, R. T. Upland agricultural and forestry development in the Amazon: sustainability, criticality and resilience. *Ecological Economics*, v. 18, p. 3-13, 1996.

Silva, C.J.; Lobo, F.A.; Bleich, M.E.; Sanches, L. 2009. Contribuição de folhas na formação de serrapilheira e no retorno de nutrientes em florestas de transição no norte de Mato Grosso. Vol. 39(3) 2009: 591-600

Silva, A. D., 2014 Produção e concentração de nutrientes via deposição de liteira na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra – Pa. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus-AM. 71pp.

Smith, N.; Dubois, Jean; Current, E. Lutz & Clement, C. Experiências Agroflorestais na Amazônia Brasileira: Restrições e Oportunidades. *Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil*, Brasília, Brasil. 146 p.; il. 1998.

Valentini, C.M.A. 2004. *Efluxo de CO₂ do solo de uma floresta de transição no noroeste de Mato Grosso. Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. 81pp.

Van Leeuwen, J. Uma ampliação do conceito agroflorestal: Da criação de novos sistemas para a integração de árvores na agricultura. *Amazônia Agroflorestal, Boletim Trimestral do ICRAF na Amazonia*, 2011, 3 (1): 3-4

Van Leeuwen, J.; Gomes, J. B. M. ; Menezes, J. M. T. ; Leandro, R. C. ; Mota, M. S. S. ; Santos, G. T. ;

Victoria, R. L; Martinelli, L.A.; Cunha, H.B.; Richey, J. E. The Amazon basin and its natural cycles. In: Salati, E.; Absy, M.L; Victoria, R.L. (Ed). Amazônia: Um ecossistema em transformação. Manaus: INPA, 2000. Cap 7, p. 163-211.

Vital, A. R. T.; Guerrini, I. A.; Franken, W. Karl.; Fonseca, R. C. B.. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. Rev. Árvore [online]. 2004, vol.28, n.6 [cited 2016-10-03], pp.793-80.

6. Capítulo II

CAPÍTULO II

Salomão, A.C.F.; Uguen, K.; Alfaia, S.S. 2016. Dinâmica de nitrogênio mineral no solo de cafezais em transição agroflorestal. Apuí – AM.¹. Modelo a ser submetido à Acta Amazônica.

DINÂMICA DE NITROGÊNIO EM PLANTIOS DE CAFÉ EM TRANSIÇÃO PARA SISTEMA AGROFLORESTAL, APUÍ – AM.¹

Ana Cláudia Francisco SALOMÃO¹, Katell UGUEN², Sônia Sena ALFAIA³

¹Engenheira Florestal. Mestranda no Programa de Pós Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. anafsalomao@gmail.com

²Co-orientadora. Universidade Estadual do Amazonas

³Orientadora. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Sonia.alfaia1@gmail.com

*Autor correspondente: anafsalomao@gmail.com

RESUMO

No município de Apuí – AM produtores familiares de café do projeto de assentamento do Rio Juma foram incentivados pelo Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas – IDESAM estabelecerem uma área de cafezais para ser realizada a transição agroflorestal, com a introdução de leguminosas arbóreas e arbustivas com o intuito de: proteger e melhorar a fertilidade do solo e também promover a mineralização do nitrogênio através da Fixação Biológica do nitrogênio. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a dinâmica de nitrogênio mineral, nas formas de amônio e nitrato, presente no solo em cafezais em transição agroflorestal, comparar com solos de floresta adjacente e identificar a influência da serapilheira estocada na mineralização do N. Nos dois tipos de uso do solo e na floresta a forma de N mineral predominante é a forma amoniacal (N-NH₄⁺). Os solos sob cafezais em transição agroflorestal apresentaram uma maior taxa de mineralização do que os cafezais em monocultivo, mostrando que a inserção de leguminosas influenciou no aumento da disponibilidade do nutriente para a planta. A floresta apresenta maior taxa de mineralização do que os dois sistemas de cultivo de café.

PALAVRAS-CHAVE: Nitrogênio, mineralização, latossolo, *Coffea canephora*

ABSTRACT

In the municipality of Apuí - AM family coffee producers of the settlement project Juma River were encouraged by the Amazon Conservation and Sustainable Development Institute - IDESAM established a coffee plantation area to be held agroforestry transition with the introduction of tree and shrub legumes in order to: protect and improve soil fertility and also promote the mineralization of nitrogen through Biological nitrogen Fixation. This study aimed to characterize the dynamics of mineral nitrogen in the form of ammonium and nitrate present in the soil in coffee plantations in agroforestry transition compare with adjacent forest soils and identify the influence of litter stored in N. mineralization in both types of land use and forest the predominant form of mineral N is the ammonium form (N-NH₄⁺). The soils groves in agroforestry transition showed a higher mineralization rate than the coffee plantations in monoculture, showing that the insertion pulses influenced the increase of nutrient availability to the plant. The forest has a higher mineralization rate than the two coffee cultivation systems.

KEYWORDS: Nitrogen, mineralization, oxisol, *Coffea canephora*

INTRODUCAO

O nitrogênio mineral é o nutriente exigido em maior quantidade pelas plantas e apesar de ser um elemento abundante na atmosfera na sua forma molecular (N_2) a maioria dos organismos não conseguem incorporar esse forma de N_2 em seu esqueleto de carbono, isso ocorre devido à forte ligação tríplice que une os 2 átomos de nitrogênio. Alguns organismos são capazes de realizar a redução de N_2 em amônio (NH_4^+) esse processo é chamado de Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN) (Reis e Teixeira, 2005).

Em áreas de floresta, após o desmatamento, o N é um dos nutrientes que se perde mais rapidamente em consequência da atividade agrícola, em especial a prática da atividade de queima como preparo da área e a posterior perda da matéria orgânica do solo. Em latossolos e argissolos, tipos de solos presentes nos locais estudados, o N não é considerado um nutriente limitante, porém pode se tornar algum tempo depois da implementação de cultivos, principalmente os que tem como base o processo de corte e queima (Alfaia et al, 2007).

As plantas normalmente absorvem N na forma de amônio ($N-NH_4^+$) e nitrato ($N-NO_3^-$) mas preferencialmente na forma de nitrato. A disponibilidade dessas duas formas de N mineral no solo depende de parâmetros físicos, químicos e biológicos que regulam os processos de amonificação e nitrificação. Nos latossolos e argissolos, onde pode haver nitrificação devido ao baixo pH o ($N-NH_4^+$) pode ser uma importante fonte de N para as plantas. (Jordan et al, 1979; Piccolo, 1989 e Alfaia et al., 1995 Apud Alfaia et al., 2013).

Grande parte das espécies pertencentes a família Fabaceae, popularmente conhecidas como leguminosas, possuem a capacidade de se associar simbioticamente à bactérias fixadoras de nitrogênio. Essa associação pode incorporar mais de 500 kg ha^{-1} ano de N ao sistema solo-planta, que, juntamente com o fósforo, são os nutrientes que mais limitam o estabelecimento e o desenvolvimento vegetal (Siqueira & Franco, 1988). A agricultura das últimas décadas tem causando grandes alterações no solo, resultando na perda de produtividade e sustentabilidade dos sistemas de produção. Neste aspecto, a inclusão de leguminosas fixadoras de nitrogênio é uma estratégia que também deve ser considerado como uma aliada ao manejo dos sistemas de produção, tanto em relação ao seu efeito nos estoques de matéria orgânica no solo; (Amado et al., 2001) como em relação à mineralização de N no solo.

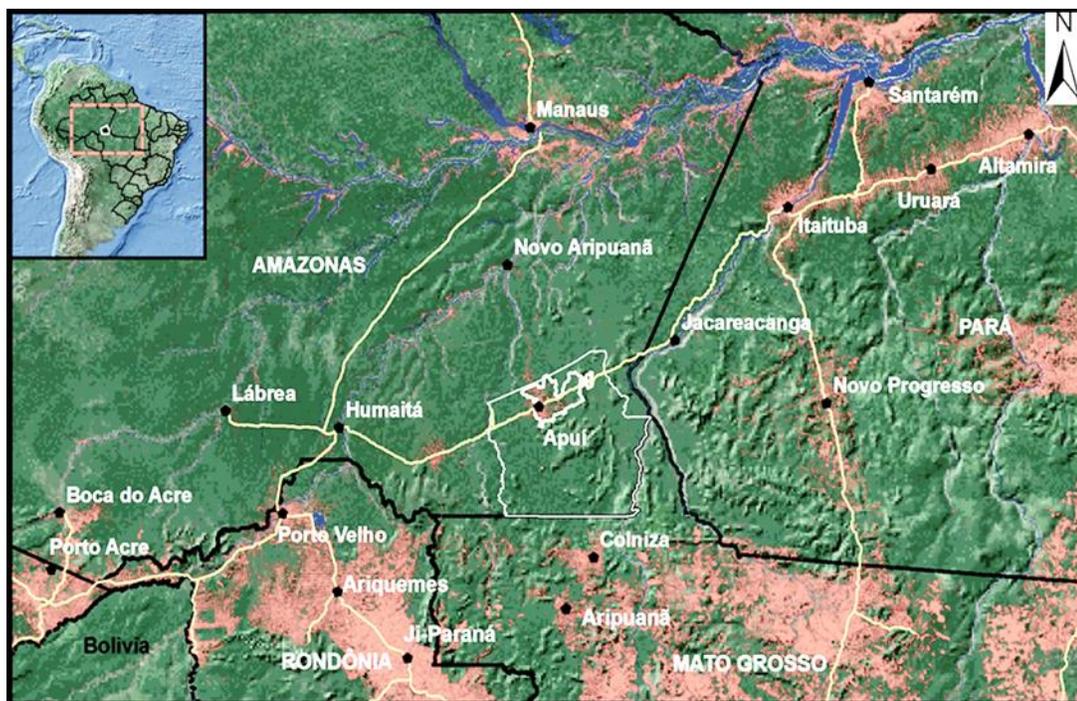
No município de Apuí – AM produtores familiares de café do projeto de assentamento do Rio Juma foram incentivados pelo Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas – IDESAM estabeleceram uma área de cafezais para ser realizada a transição agroflorestal, com a introdução de leguminosas arbóreas e arbustivas com o intuito de proteger e melhorar a fertilidade do solo e também fornecer nitrogênio ao sistema através da Fixação Biológica do nitrogênio (Figueiredo, 2015).

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a dinâmica de nitrogênio mineral, nas formas de amônio e nitrato, presentes no solo em cafezais em transição agroflorestal, comparar com solos sob cafezais em monocultivo e floresta adjacente.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

O Estudo foi realizado no município de Apuí, no sul do Amazonas, nos limites com o Estado do Pará ao leste e com o Estado do Mato Grosso ao sul, situado entre as coordenadas geográficas 06°30' e 08°00' S e de 59° 00' e 60° 30' W. No Amazonas, o município faz fronteira ao norte com o município de Novo Aripuanã e a oeste com Humaitá, mais especificamente às margens da rodovia transamazônica (BR-230), ocupa uma área de 54.244 km² com uma população estimada de 20.648 habitantes (IBGE 2016) (figura 1).



Fonte: Carreiro e Fearnside, 2011

Figura 1: Localização do Município de Apuí – AM

Cerca de 63% da área total do município de Apuí é constituída por unidades de conservação (Carrero *et al.*, 2013) e aproximadamente 30% é ocupada por Projetos de Assentamento da Reforma Agrária, entre eles o Projeto de Assentamento Rio Juma (PARJ), que engloba a maior parte das famílias assentadas na região (Cenamo *et al.*; 2011) e onde estão localizados os Estabelecimentos Rurais (ER) estudados.

A vegetação do município é predominantemente formada por floresta ombrófila densa e aberta com algumas formações de campinas sobre solos arenosos. (RADAMBRASIL, 1978). O solo é predominantemente caracterizado pela presença de Latossolos e Argissolos, com predominância de elevada acidez e alta toxidez por alumínio, níveis médios e altos de matéria orgânica, níveis baixos de nutrientes (Moreira e Fageria, 2009) e dentro dos estabelecimentos rurais estudados a textura do solo foi caracterizada como muito argilosa (Figueiredo, 2015).

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Tropical de monção (Alvares, 2013). A precipitação média anual está em torno de 2.000mm. O período chuvoso ocorre entre os meses

de janeiro a março, com pico pluviométrico no final de janeiro, e o período seco acontece entre os meses de junho a outubro (INMET, 2016)

Histórico de uso do solo

O estudo foi realizado em áreas de produção familiar, mais especificamente Estabelecimentos Rurais (ER) pertencentes ao Projeto de Assentamento do Rio Juma, onde são desenvolvidos cultivos de café em solos bem drenados de terra firme. Para o estudo foram selecionados lotes que apresentam áreas de ao menos 1 hectare (ha) de cultivo de café sob manejo tradicional, 1 ha de áreas de cultivo de café em transição agroflorestal (SAF) e florestas remanescentes circundantes sobre o mesmo tipo de solo para comparação dos resultados. Para abranger o efeito da sazonalidade foram realizadas coletas em três períodos do ano, período chuvoso (final de janeiro), início do período seco (julho) e final do período seco (outubro) de 2015.

O plantio de café nas áreas estudadas foi realizado no espaçamento 3x2m, apresentando, hoje, idade entre 5 e 10 anos. Os SAF foram implantados em dezembro de 2013, onde foram incorporadas espécies florestais e agronômicas em consórcio com o café. A finalidade do plantio consiste em aumentar a biodiversidade nas áreas de cultivo utilizando espécies potenciais para a fixação de nutrientes, aumento da matéria orgânica no solo, sombreamento, produção madeireira e não madeireira.

Os três estabelecimentos rurais selecionados para esse estudo estão em processo de transição agroflorestal com o cultivo de café. Os produtores foram apoiados pela ONG Instituto de Conservação de Desenvolvimento Sustentável do Amazonas (IDESAM) através do projeto intitulado “Café em Agrofloresta para o Fortalecimento da Economia de Baixo Carbono em Apuí (Projeto Café), Este projeto recomendou e forneceu 2,8 toneladas de calcário dolomítico (93% de PRNT) e 70 kg de superfosfato triplo para cada agricultor aplicar em um hectare. Nessas propriedades, além da implantação dos SAF, o manejo adotado utiliza também outras técnicas agroecológicas, como o enriquecimento com espécies arbóreas florestais, uso de adubação verde, aplicação de biofertilizante foliar e controle alternativo de pragas (figueiredo, 2015).

As espécies utilizadas para adubação verde foram: *Crotalaria spectabilis* Roth (crotalária), *crotalaria juncea* L (crotalária), *Canavalia ensiformes* (L) DC. (feijão-de-porco) e *Cajanus cajan* (L) Millsp. (guandu), que foram cultivadas nas entrelinhas do café para promover um aumento na

quantidade de matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes e na fixação biológica de nitrogênio. As espécies arbóreas foram *Inga edulis* Mart. (ingá-cipó), *Gliricidia sepium* (Jacq) Walp. (gliricídia) e *Schizolobium amazonicum* Ducke (paricá). O biofertilizante é produzido nos próprios estabelecimentos rurais à base de esterco, cinzas, leite, açúcar, plantas leguminosas e plantas repelentes. O controle da broca-do-café *Hypothenemus hampei* Ferrari, praga importante para a cultura, ocorre com o uso de armadilhas feitas em garrafas Pet de 2 litros.

As florestas amostradas fazem parte dos limites físicos dos estabelecimentos estudados. São florestas, exploradas seletivamente pelos produtores de maneira subsistente. Porém, anualmente essas florestas são diminuídas, pelo processo de corte e queima e convertidas em áreas de cultivo agrícola ou pecuária.

Delineamento e tratamentos.

O Delineamento foi em blocos casualizados com três repetições e três tratamentos. As parcelas de cafezais são compostas por 15 linhas no espaçamento de 3 por 2 metros ao longo de 50 metros de comprimento (45 x 50 m) totalizando 2.250 m² de área, subdividida em três sub-parcelas de tamanhos iguais (15 x 50 m), onde foram coletadas as amostras, as parcelas nas áreas de floresta possuem a mesma áreas das parcelas nos cafezais.

Para a análise química do solo foram coletadas 4 amostras em cada subparcela, nas camadas 0-5 e 5-10 cm de profundidade, imediatamente abaixo da camada de serrapilheira, totalizando 216 amostras por coleta e um total de 648 amostras (figura 2).

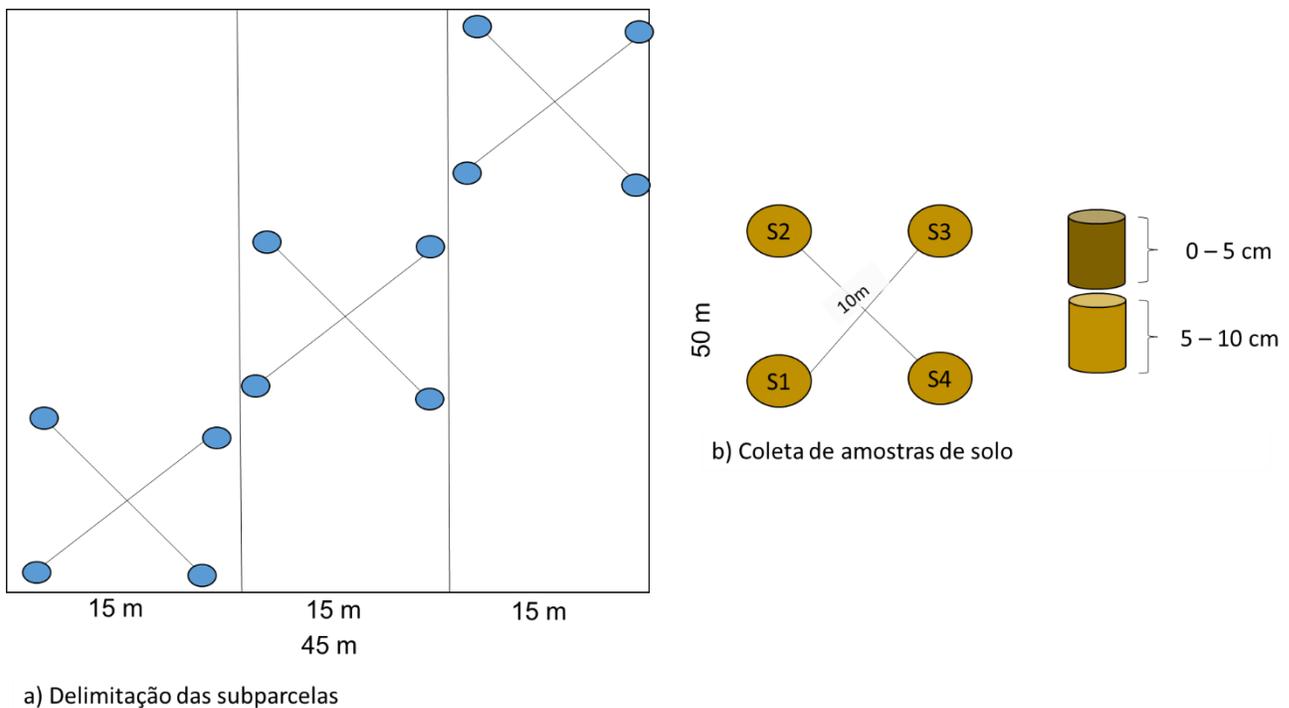


Figura 2: Delineamento da coleta de amostras de solo, nas áreas estudadas: a) Divisão da parcela de 45 x 50 m dividida em três subparcelas. b) detalhamento da coleta das amostras de solo dentro de cada subparcela.

Coleta e preparo das amostras de solo para análise química

As amostras de solo foram coletadas com auxílio de um trado metálico do tipo holandês, em cada ponto foram coletadas duas amostras de solo nas profundidades de 0-5 e 5-10cm, logo abaixo da camada de serapilheira previamente retiradas. Imediatamente após a coleta as amostras foram colocadas em sacos plásticos identificadas e armazenadas em ambiente refrigerado (caixa de isopor contendo gelo), até serem congeladas e transportadas ao Laboratório Temático de Solo e Planta do INPA. As amostras permaneceram congeladas até a extração do N mineral em laboratório.

Análise química no N mineral

Umidade

Para determinar a umidade do solo foi utilizado 10g de solo fresco, seco em estufa a 105 °C por 48 horas. O cálculo foi realizado utilizando a equação abaixo:

$$\% \text{ UMIDADE} = (\text{Peso úmido} - \text{Peso seco}) \times 100 / \text{Peso seco}$$

Nitrogênio mineral do solo

Os extratos de solo para determinação das teor de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) foram obtidos utilizando-se subamostras de 40g de solo úmido e 40ml de K_2SO_4 (0,5M), com agitação a 200 rpm do material por 15 minutos e mantido em repouso por 30 minutos, estes extrato foram filtrados e preservados para determinação dos teores de N-mineral. Os teores de NH_4^+ e NO_3^- foram determinados por colorimetria seguindo as metodologias também descritas por Anderson & Ingram (1993).

Taxas de nitrificação e mineralização do nitrogênio

Para determinar as taxas de transformação do N mineral uma outra subamostra de 40g de cada amostra de solo foi incubada por 10 dias em temperatura ambiente para determinação do N-mineral final. Após o período de incubação o N mineral foi extraído seguindo metodologia descrita acima.

Para o cálculo das taxas foram usadas as seguintes formulas:

$$\text{Taxa de nitrificação} = [\text{N} - \text{NO}_3^-]_{\text{final}} - [\text{N} - \text{NO}_3^-]_{\text{inicial}}$$

$$\text{Taxa de mineralização} = [\text{N} - \text{NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-]_{\text{final}} - [\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_3^-]_{\text{inicial}}$$

1.1 Análise de dados

Com o intuito de explorar juntamente todos os parâmetros da dinâmica do nitrogênio no solo, aplicou-se a análise de componentes principais (PCA). Para testar o conjunto de variáveis, entre os tratamentos, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) aos scores das duas primeiras componentes principais. No intuito de entender melhor estes testes, realizou-se a correlação de Pearson entre as variáveis e as componentes. A PCA é composta de 8 variáveis: Umidade, NH_4^+ , NH_4^+ incubado, NO_3^- , NO_3^- incubado, taxa de nitrificação, taxa de amônificação, taxa de mineralização.

A interpretação individual dos parâmetros químicos da dinâmica do nitrogênio no solo foi feita utilizando o teste de Kruskal-Wallis ao nível de $p < 0,05$, quando significativo foi aplicado o teste de Mann-Whitney para os contrastes individuais

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Umidade do Solo

Para os período do ano correspondente à época chuvosa e o início da época seca a umidade variou significativamente ($p < 0,01$) em relação aos sistemas de uso do solo. Analisando os contrastes individualmente, o café e o café agroflorestal não diferiram significativamente entre eles já a floresta diferiu significativamente dos dois sistemas de cultivo de café ($p < 0,01$).

Para o período de coleta correspondente ao final da época seca os valores de umidade se diferenciam em relação ao sistema de uso do solo ($p < 0,01$). Para esse período todos os três sistemas de uso do solo foram significativamente diferentes entre si ($p < 0,01$) (tabela 1).

Tabela 1: Umidade (% , média e erro padrão) nos três sistemas de uso do solo, em três épocas do ano.

Sistemas de uso do solo	Umidade (%)		
	Chuvoso	Início seca	Final Seca
Café agroflorestal	41.97bA \pm 0.82	36.88bB \pm 0.67	27.10cC \pm 0.27
Café	43.75bA \pm 1.32	38.11bB \pm 0.62	29.26bC \pm 0.48
Floresta	45.72aA \pm 0.84	42.62aB \pm 0.82	31.94aC \pm 0.51

Médias seguidas de letras minúsculas distintas nas colunas (entre sistemas) e maiúsculas entre linhas (entre período de coleta) são significativamente diferentes

Os valores de umidade nos três períodos do ano apresentaram o mesmo comportamento para os três sistemas de uso do solo, obedecendo a sequência decrescente: Floresta > café > café agroflorestal (figura 2).

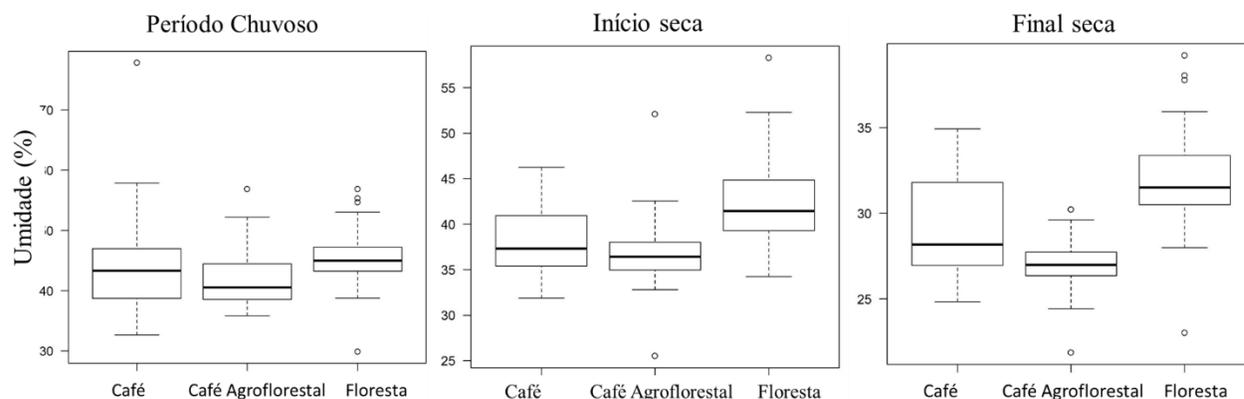


Figura 2: Teor de umidade nos três tipos de sistemas de uso do solo: café em monocultivo (café), café em transição agroflorestal (café agroflorestal) e floresta remanescente (floresta), nos três períodos do ano.

O teor de umidade nos três sistemas de uso do solo foram significativamente diferentes ($p < 0,01$) em relação aos períodos de coleta e decresceram segundo os padrões de chuva da região, na sequencia período chuvoso > início do período seco > final do período seco (figura 3).

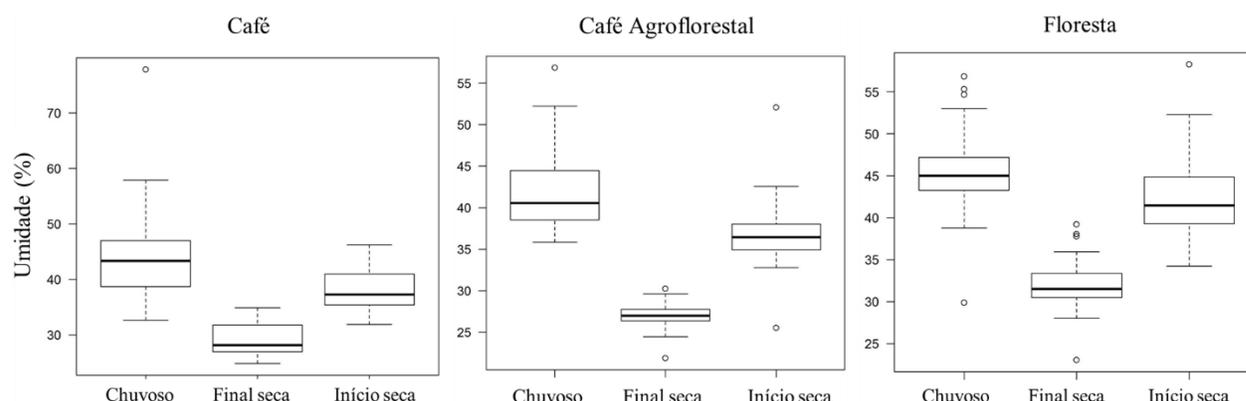


Figura 3: Teor de umidade nos três períodos do ano, nos três sistemas de uso do solo: café em monocultivo (café), café em transição agroflorestal (café agroflorestal) e floresta remanescente (floresta).

O N mineral no solo suas formas e transformações

Concentrações de N mineral no solo suas formas

Nos três períodos do ano e nos três tipos de uso do solo, houve predominância do $N-NH_4^+$ sobre o $N-NO_3^-$. Em estudo com a incorporação de resíduo vegetal de feijão caupi nos solos de terra firme, Alfaia (1997), observou que os teores de N mineral produzidos (mineralizado) em latossolos foram, principalmente, na forma amoniacal. As plantas normalmente absorvem N na forma mineral ($N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$) e preferencialmente na forma de $N-NO_3^-$. A disponibilidade dessas duas formas de N no solo depende de parâmetros físico-químicos que regulam os processos de amonificação e nitrificação. Nos solos de terra firme da Amazônia, onde pode haver inibição da nitrificação devido ao baixo pH, o $N-NH_4^+$ pode se constituir numa importante fonte de N para as plantas (Jordan et al. 1979; Piccolo, 1989 e Alfaia et al. 1995a).

As concentrações de $N-NH_4^+$ variaram significativamente entre os tratamentos no período chuvoso e no final do período seco ($p < 0,05$) e entre os três períodos do ano ($p < 0,05$). No período chuvoso as maiores concentrações de $N-NH_4^+$ inicial e final foram encontradas sob o solo sob floresta, seguido do solo sob cafezais em transição agroflorestal e as menores concentrações foram

encontradas no café em monocultivo. No início do período seco não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de N-NH_4^+ entre os três sistemas amostrados. Enquanto que para o N-NH_4^+ final as maiores concentrações foram encontradas nos solos sob florestas remanescente e as menores nos cafezais em sistema de monocultivo. No final da época seca as concentrações de N-NH_4^+ inicial e N-NH_4^+ final foram maiores nas áreas de floresta e menores nas áreas de café em transição agroflorestal (tabela 2), provavelmente devido as maiores taxas de mineralização observadas nas área de floresta. Na região de Rondônia, Dresch (2005), também observou valores mais elevados de N-NH_4^+ na floresta do que em áreas de SAF, sendo que ao contrário dos resultados do presente trabalho, os valores decresceram entre as estações na sequência chuvosa>início seca>final seca.

As concentrações de N-NO_3^- inicial e final, variaram significativamente entre os tratamentos ($p<0,05$), as maiores concentrações foram encontradas nos solos sob floresta remanescente e as menores nos solos sob café em transição agroflorestal, mantendo esse padrão para todos os períodos do ano.

As concentrações de N-NO_3^- e N-NH_4^+ inicial variaram significativamente ($p<0,05$) entre os períodos do ano. O período seco foi o período que apresentou as maiores concentrações das duas formas de N mineral inicial e o período chuvoso as menores. Por outro lado, as maiores concentrações de N-NO_3^- e N-NH_4^+ final foram encontradas nos solos sob florestas para todos os períodos do ano.

No período chuvoso e no início do período seco o solo sob cultivo de café em transição agroflorestal apresentou as maiores concentrações de N-NH_4^+ em relação aos solos sob sistema de monocultivo de café, no início da seca as maiores concentrações de N-NH_4^+ foram encontradas nos solos sob sistemas de monocultivo de café.

As concentrações de N-NO_3^- final nos solos sob monocultivo de café foram maiores do que os solos sob cafezais em transição agroflorestal para todas os períodos do ano.

Nos três tipos de solo estudados observou-se um aumento na concentração de nitrato e amônio após o período de incubação (10 dias). A predominância no N mineral na forma amoniacal nos primeiros 10 dias de incubação também foi observado em estudo realizado por Mota et al., (2009) que identificou também que a mineralização do nitrogênio na forma nítrica, para os solos da Amazônia central começa a ser superior a forma amoniacal a partir de 15 dias de incubação. Esse

aumento do teor de nitrato com o avanço do período de incubação também foi observado por Alfaia (1997), que identificou que a maior parte do NO_3^- foram liberados nos 60 dias de incubação.

Tabela 2: Teores de amônio e nitrato (mg kg^{-1}) (média e erro padrão) incubados e não incubado nos três sistemas de uso do solo, cafezais em monocultivos (café), cafezais em transição agroflorestal (café agroflorestal) e floresta adjacente (floresta) em três períodos do ano.

Sistemas de uso do solo	NH_4^+ (mg kg^{-1})			NH_4^+ final (mg kg^{-1})		
	Chuvoso	Início seca	Final Seca	Chuvoso	Início seca	Final Seca
Café agroflorestal	8.23aC ± 0.53	12.97aB ±0.45	17.45cA ±1.30	21.10bBA ±1.47	18.38bB ±1.45	25.54cA ±1.90
Café	6.87bC ± 0.48	12.06aB ±0.56	20.78bA ±0.88	20.61bB ±1.74	16.21bB ±0.86	29.16bA ±1.54
Floresta	8.85aC ± 0.60	12.79aB ±0.56	28.17aA ±1.36	27.64aB ±1.08	21.34aC ±0.90	41.04aA ±1.40
Uso do solo	NO_3^- (mg kg^{-1})			NO_3^- final (mg kg^{-1})		
	Chuvoso	Início seca	Final Seca	Chuvoso	Início seca	Final Seca
Café agroflorestal	1.82bB ±0.17	2.35cB ±0.28	4.82bA ±0.52	8.97bB ±0.80	14.00bA ±1.40	6.68bC ±0.65
Café	1.86bB ±0.17	3.56bB ±0.43	5.78bA ±0.49	9.62abB ±0.87	14.19bA ±1.34	7.83bB ±0.71
Floresta	2.97aC ±0.18	5.25aB ±0.68	7.33aA ±0.60	10.97aB ±0.62	23.58aA ±2.33	11.70aB ±0.90

Médias seguidas de letras distintas nas colunas (entre sistemas) e entre linhas (entre período de coleta) são significativamente diferentes

O potencial da leguminosas arbórea *Gliricidia sepium*, usada neste estudo, no aumento da concentração de (N-NH_4^+) em Latossolos Amarelos foi confirmado em ensaio em condições de incubação em cada de vegetação realizado por Alfaia & Souza (2002).

Taxas de mineralização, nitrificação e amonificação do nitrogênio

A taxa de nitrificação da área de floresta foi significativamente maior ($p < 0,05$) em relação aos dois sistemas de cultivo de café em todos os períodos do ano. A taxa de nitrificação nos dois sistemas de cultivo de café não se diferenciaram significativamente em nenhum dos períodos. O período do ano com a maior taxa de nitrificação foi o início do período seco, seguido do período

chuvoso e a menor taxa foi encontrada no final do período seco, para todos os três tipos de uso do solo (tabela 3).

A taxa de amonificação da área de floresta foi significativamente maior ($p < 0,05$) em relação aos dois sistemas de cultivo de café em todos os períodos do ano. A taxa de amonificação nos dois sistemas de cultivo de café não se diferenciaram significativamente em nenhum dos períodos. O período do ano com a maior taxa de amonificação foi o período chuvoso, seguido do final do período seco e a menor taxa foi encontrada no início do período seco, para todos os três tipos de uso do solo (tabela 3).

A taxa de mineralização da área de floresta foi significativamente maior ($p < 0,05$) em relação aos dois sistemas de cultivo de café em todos os períodos do ano. A taxa de amonificação nos dois sistemas de cultivo de café não se diferenciaram significativamente em nenhum dos períodos. O período do ano com a maior taxa de mineralização foi o período chuvoso, seguido do final do período seco e a menor taxa foi encontrada no início do período seco, para todos os três tipos de uso do solo (tabela 3).

Essa menor mineralização no início do período seco pode ser consequência da influência da composição química dos resíduos no processo de mineralização (Carneiro et al, 2013). Os nutrientes mais móveis da serrapilheira são mais facilmente lixiviados e na época chuvosa ocorre a diminuição da qualidade química da serrapilheira diminuindo assim a taxa de mineralização (Dematte, 2000).

A taxa de mineralização dos solos, também são dependentes de outros fatores como o grau de fertilidade do solo, a textura, a acidez, os teores de C e N e no balanço dos processos de perdas e de ganhos de N mineral no sistema solo-planta (Carneiro et al, 2013) Nos períodos chuvoso e início da seca a maior parte da mineralização ocorreu na forma de amônio. No início do período seco a maior mineralização foi na forma de nitrato, mesmo resultado foi encontrado por Luizão, (2004) que estudando variação do nitrogênio na Amazônia central identificou que 51% do N mineral foi mineralizado na forma de nitrato.

Tabela 3: taxas de nitrificação, amônificação e mineralização ($\text{mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) (média e erro padrão) nos três tipos de uso do solo: cafezais em monocultivos (café), cafezais em transição agroflorestal (café agroflorestal) e floresta adjacente (floresta) nos três períodos do ano.

Taxa de nitrificação ($\text{mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)			
Uso do solo	Chuvoso	Início seca	Final Seca
Café Agroflorestal	0.72aB \pm 0.08	1.17bA \pm 0.12	0.19bC \pm 0.05
Café	0.78aB \pm 0.09	1.06bA \pm 0.12	0.21bC \pm 0.05
Floresta	0.80aB \pm 0.06	1.83aA \pm 0.18	0.44aC \pm 0.05
Taxa de amônificação ($\text{mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)			
Uso do solo	Chuvoso	Início seca	Final Seca
Café Agroflorestal	1.29bA \pm 0.13	0.54bAB \pm 0.15	0.81bB \pm 0.17
Café	1.37bA \pm 0.14	0.42bB \pm 0.09	0.84bB \pm 0.16
Floresta	1.88aA \pm 0.12	0.86aC \pm 0.10	1.29aB \pm 0.15
Taxa de mineralização ($\text{mg kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)			
Uso do solo	Chuvoso	Início seca	Final Seca
Café Agroflorestal	1.97bA \pm 0.20	1.71bAB \pm 0.21	0.98bB \pm 0.20
Café	2.15bA \pm 0.22	1.48bB \pm 0.12	1.04bB \pm 0.17
Floresta	2.68aA \pm 0.16	2.69aA \pm 0.22	1.72aB \pm 0.13

Médias seguidas de letras distintas nas colunas (entre sistemas) e entre linhas (entre período de coleta) são significativamente diferentes

Nitrogênio mineral nos três tipos de uso do solo em três épocas do ano

As duas componentes principais (PC) utilizadas, nas profundidades de 0-10 cm, em média, explicam 69,6% da variabilidade total dos dados para as três épocas do ano, onde a PC1 foi responsável, por 46,7% da variabilidade e a PC2, 22,9% (figura 3).

Na PCA correspondente ao período chuvoso podemos observar que o NO_3^- é inversamente proporcional ao NH_4^+ e que o teor de umidade também é inversamente proporcional ao teor de NH_4^+ . A floresta apresenta os maiores teores de nitrogênio mineral e também maiores taxas de mineralização.

A floresta apresentou maior teor de umidade nos três períodos do ano, justificado pelo poder da vegetação de aumentar e manter a umidade do solo. É também na floresta onde podemos observar as maiores taxas de mineralização.

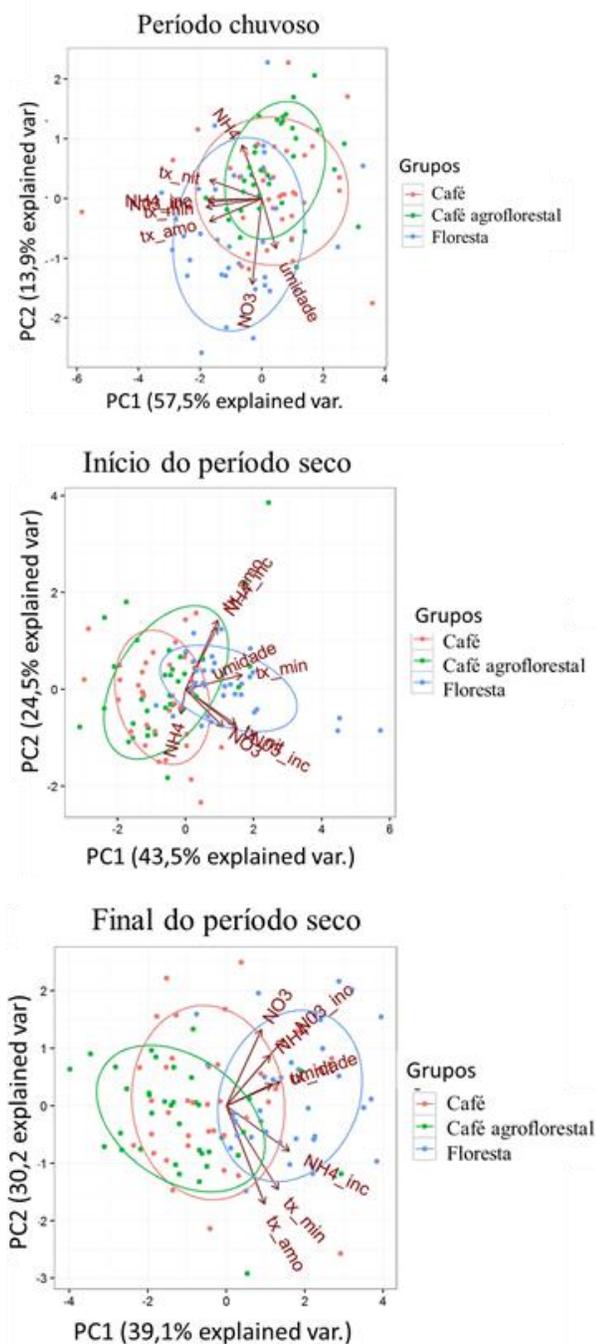


Figura 4: Formas do N-mineral, umidade e taxa de mineralização nas áreas de cultivo de café em monocultivo (café), café em transição agroflorestal (café agroflorestal) e floresta remanescente (floresta), para os três períodos de coleta, na profundidade (0-10cm). Onde: Tx_amo: Taxa de amonificação; Tx_min: taxa de mineralização; NH4_inc: NH_4^+ incubado; NO3_inc: NO_3^- incubado; NO3: NO_3^- e NH4: NH_4^+ .

Tabela 4: Comparação entre as variáveis de nitrogênio mineral de cada sistema de uso do solo: café em monocultivo (café), café em transição agroflorestal (café agroflorestal) e floresta remanescente (floresta) e as componentes principais nos três períodos do ano, pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Época do ano	Uso do Solo	PC1	PC2
		$p < 0,01$	$P < 0,01$
Chuvoso	Café	a	a
	Café Agrof.	a	a
	Floresta	b	b
		$P < 0,01$	$p = 0.6536$
Início seca	Café	a	a
	Café Agrof.	a	a
	Floresta	b	a
		$p < 0,01$	$p = 0.3524$
Final seca	Café	a	a
	Café Agrof.	a	a
	Floresta	b	a

Letras minúsculas nas colunas (entre sistemas) são significativamente diferentes pelo teste U de Mann-Whitney a 95% ($P < 0,017$)

As variáveis que mais se correlacionaram na época chuvosa com a PC1 foram: NH_4^+ incubado (-0,95), NO_3^- incubado (-0,93), taxa de nitrificação (-0,91), taxa de amônificação (-0,92) e taxa de mineralização (-0,97) e com a PC2 foram: umidade (-0,45), NH_4^+ (0,48) e NO_3^- (-0,78).

No início da época seca as variáveis que mais se correlacionaram com a PC1 foram: umidade (0,20), taxa de mineralização (0,97), NO_3^- incubado (0,88), taxa de nitrificação (0,85) e NO_3^- (0,64) e com a PC2 foram: taxa de amônificação: (0,83), NH_4^+ incubado (0,74) e NH_4^+ (-0,30).

No final da época seca as variáveis que mais se correlacionaram com a PC1 foram: NH_4^+ incubado (0,80), NO_3^- incubado (0,72), taxa de nitrificação (0,68), umidade (0,58), NH_4^+ (0,55) e com a PC2 foram: taxa de amônificação (-0,85), taxa de mineralização (-0,72) e NO_3^- (0,66)

Dinâmica do nitrogênio nas três épocas do ano para cada tipo de uso do solo

As duas componentes principais utilizadas, nas profundidades de 0-10 cm, em média, explicam 66,8% da variabilidade total dos dados para os três tipos de uso do solo, onde a PC1 foi responsável, por 38,4% da variabilidade e a PC2, 28,4% (figura 4).

A PCA indicou a formação de três grupos distintos, período chuvoso, início do período seco e final do período seco. O período chuvoso e o final do período seco foram totalmente distintos nos três tipos e uso do solo e o início do período seco, se mostra como um período em transição de um para o outro. Demonstrando a influência da sazonalidade na mineralização do nitrogênio nos três tipos de uso do solo.

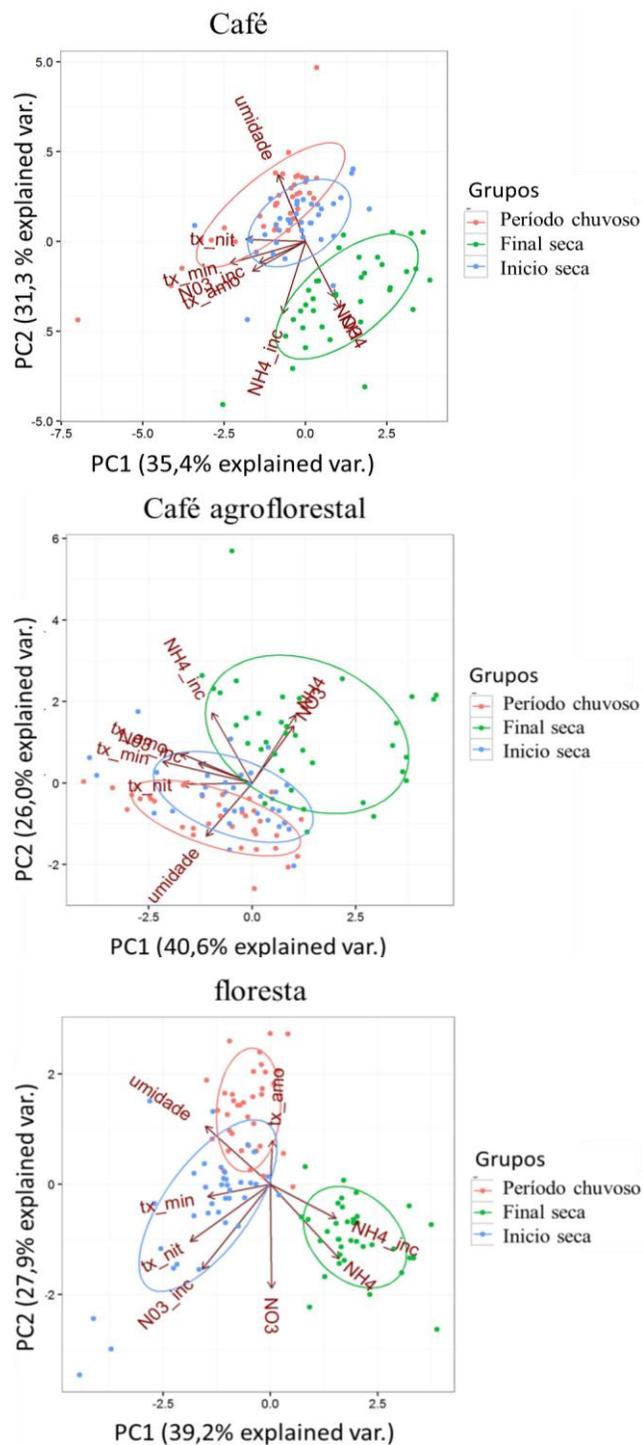


Figura 5: Formas do N- mineral, umidade e taxas de mineralização nos três períodos de coleta para os três tipos de uso do solo: café em monocultivo (café), café em transição agroflorestal (café agroflorestal) e floresta remanescente (floresta) na profundidade (0-10cm). Onde: Tx_amo: Taxa de amonificação; Tx_mim: taxa de mineralização; NH₄_inc: NH₄⁺ incubado; NO₃_inc: NO₃⁻ incubado; NO₃: NO₃⁻ e NH₄: NH₄⁺

Tabela 5: Comparação entre as variáveis de nitrogênio mineral nos três períodos de coleta e as componentes principais de cada sistema de uso do solo: café em monocultivo (café), café em transição agroflorestal (café agroflorestal) e floresta remanescente (floresta), pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Uso do solo	Periodo de coleta	PC1	PC2
Café		$p < 0,01$	$p < 0,01$
	Chuvoso	a	a
	Início seca	b	b
	Final seca	c	c
Café agroflorestal		$p < 0,01$	$p < 0,01$
	Chuvoso	a	a
	Início seca	a	b
	Final seca	b	c
Floresta		$p < 0,01$	$p < 0,01$
	Chuvoso	a	a
	Início seca	b	b
	Final seca	c	c

Letras minúsculas nas colunas (entre sistemas) são significativamente diferentes pelo teste U de Mann-Whitney a 95% ($P < 0,017$)

As variáveis que mais se correlacionaram com a PC1 para os solos sob café foram: NH_4^+ incubado (-0,83), umidade (0,77), NH_4^+ (-0,76) e NO_3^- (-0,64) e com a PC2 foram: taxa de mineralização (-0,96), taxa de nitrificação (-0,76), taxa de amônificação (-0,68) e NO_3^- incubado (-0,59).

Para os solos sob café em transição agroflorestal as variáveis que mais se correlacionaram com a PC1 foram: taxa de mineralização (-0,96), taxa de amônificação (-0,76), taxa de nitrificação (-0,75), e NO_3^- incubado (-0,58) e com a PC2 foram: NH_4^+ incubado (0,77), NH_4^+ (0,75), NO_3^- (0,62) e umidade (-0,58).

Para os solos sob floresta as variáveis que mais se correlacionaram com a PC1 foram: taxa de nitrificação (-0,84), NH_4^+ (0,72), NO_3^- incubado (-0,72), NH_4^+ incubado (0,69), umidade (-0,68) e taxa de mineralização (-0,66) e a PC2 foram: NO_3^- 0,85 e taxa de amônificação (0,36).

Mineralização do Nitrogênio

A mineralização do nitrogênio, nos cafezais em transição agroflorestal em relação ao cafezais em monocultivo foi maior no período chuvoso e menor nos períodos secos. O baixo teor em C e N total nesses períodos pode ter influenciado a menor taxa de mineralização apresentada (Alfaia et al, 1997)

As áreas de café agroflorestal tiveram um aumento de N mineral de 299% no período chuvoso, 211% no início da época seca e de 145% no final da época seca. As áreas de café em monocultivo tiveram um aumento de N mineral de 346% no período chuvoso, 195% no início da época seca e de 139% no final da época seca. As áreas de floresta remanescente tiveram um aumento de N mineral de 327% no período chuvoso, 249% no início da época seca e de 149% no final da época seca.

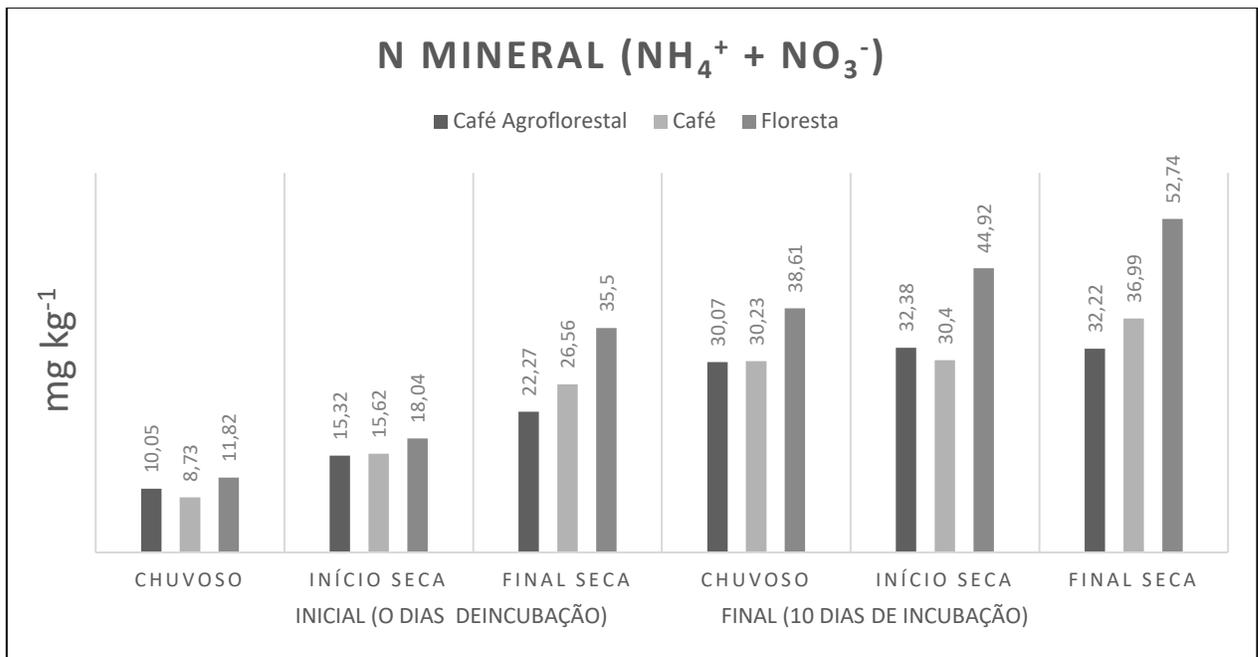


Figura 6: N mineral no tempo 0 (dias) de incubação e no 10 (dias) de incubação, para os três sistemas de uso do solo: café em monocultivo (café), café em transição agroflorestal (café agroflorestal) e floresta remanescente (floresta) nas três épocas do ano.

Estudando o efeito da aplicação de adubação verde em sistemas agroflorestais com presença de árvores de cupuaçu ao Norte de Manaus Schwendener et al, 2007 mostraram que O efeito da

biomassa de leguminosas e da liteira de cupuaçu no N mineral do solo foi aditivo, indicando que o uso de adubação verde em plantas de cupuaçu pode ser baseado na dinâmica do N em cada espécie usada como adubo verde. E que a qualidade do resíduo, e não a quantidade, foi o principal fator que influenciou a taxa de liberação de N das folhas e a mineralização deste no solo, em ambiente controlado. No campo, o complexo ciclo do N e outros fatores tais como a fauna do solo, raízes e os efeitos do microclima, tiveram uma influência mais forte na disponibilidade de N no solo do que a qualidade do resíduo vegetal.

Conclusão

1. Nos dois tipos de uso do solo e na floresta a forma de N mineral predominante é a forma amoniacal (N-NH_4^+)
2. Os solos sob cafezais em transição agroflorestal apresentaram uma maior taxa de mineralização do que os cafezais em monocultivo, mostrando que a prática da calagem e inserção de leguminosas influenciou no aumento da disponibilidade do nutriente para a planta.
3. A floresta apresenta maior taxa de mineralização do que os dois sistemas de cultivo de café.

Referências Bibliográficas

- Alfaia, S. S. Mineralização do nitrogênio incorporado como material vegetal em três solos da Amazônia Central. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 21, p. 387-392, 1997
- Alfaia, S.S.; Jacquin, F.; Guiraud, G. Transformation of nitrogen fertilizers in brazilian Amazonia soils. *Arid Soils Reserch and Rehabilitation*. v. 9, p. 335-340, 1995.
- Alfaia, S.S.; Rodrigues, M.R.L.; Uguen, K.; Ayres, M.I.C. Manejo do nitrogênio em agroecossistemas de terra firme e várzea na Amazônia. *In* Noda, H.; Souza, L.A.G.; filho, D. F. S.F. (org). *Pesquisas agronômicas para a agricultura sustentável na Amazônia Central*. Org. – Manaus – AM. Wega, 2013.
- Alfaia, S.S.; Neves, A. L.; Ribeiro, G.A.; Uguen, K.; Ayres, M.I.C. Caracterização dos parâmetros químicos dos solos de várzea em diversos sistemas de uso da terra ao longo da calha dos rios Solimões/Amazonas. *In* NODA. S.N (org). *Agricultura Familiar a Amazônia das Águas*, EDUA, P. 67-89
- Alfaia, S.S.; Souza, L.A.G, 2002. Perspectivas do Uso e Manejo dos Solos na Amazônia. *In*: Araújo, Q.R. ed. *500 Anos de Uso do Solo no Brasil*. Editora da UESC, Ilhéus, Brasil. P. 311-327
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Moraes, G., leonardo, J.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013
- Amado, T.J.C.; Bayer, C.; Eltz, F.L. & brum, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:189-197, 2001.
- Anderson, J. M.; Ingram, J. S. I. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. 2ed. Wallingford: CAB International, 1993
- Carneiro, W. J. O. ; Silva, C. A.; Muniz, J.A.; Savian, T. V. Mineralização de nitrogênio em latossolos adubados com resíduos orgânicos. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:715-725, 2013
- Dematte, J.L.I. Solos. *In*: Salati, E.; Absy, M.L; Victoria, R.L. (Ed). *Amazônia: Um ecossistema em transformação*. INPA, 2000. Manaus:. Cap 6, p. 119-162.
- Figueiredo, G. V. 2015. *Contribuição da calagem e adubação fosfatada na transição de cafezais para sistema agroflorestal no município de Apuí, - Amazonas*. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, Manaus, Amazonas. 31pp.
- Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística – IBGE, 2016. Disponível em <http://cod.ibge.gov.br/ANU>. Acesso 03 de julho de 2016.

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016. (Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>) Acesso em Julho de 2016.

Luizão, R.C.C.; Luizão, F.J.; Paiva, R. Q.; Monteiro, T. F., Sousa, L.S.; Kruijt, B. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Change Biology* (2004) 10, 592-600.

Moreira, A.; Fageria, N. K. 2009. Soil chemical attributes of Amazonas state, Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40: 2912-2925

Mota, A. M.; Ayres, M. I. C.; Alfaia, S.S.; Rodrigues Filha, Z. R. Bezerra, R.T.; Furtado, R.H.P.; Uguen, K; Oliveira, L. A. Uso de leguminosas como fonte de nitrogênio para o cultivo de alface em solo de várzea da Amazônia central. *Rev. Bras. De agroecologia*. 2009. Vol. 4 N. 2.

RADAMBRASIL, Projeto. 1978. Folha no. SB 20 Purus: geologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Reis VM, Teixeira KRS. Fixação biológica de nitrogênio - estado da arte. In: Aquino AM, Assis RL, editores. *Processos biológicos no sistema solo-planta: Ferramentas para uma Agricultura ...* Editora UFLA, 367p., 2010.

Schwendener, C. M., Lehmann, J, Rondon, M., Wandelli, E. & Fernandes, E. (2007). Soil mineral N dynamics beneath mixtures of leaves from legume and fruit trees in Central Amazonian multi-strata agroforests. *Acta Amazonica*, 37(3), 313-320

Siqueira, j. O.; Franco, A. A. *Biotechnology do solo: Fundamentos e perspectivas*. Brasília: MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 1988. 236p

7. SÍNTESE INTEGRADORA

Com os dois artigos podemos observar que os sistemas agroflorestais mesmo com pouco tempo de implementação, já começam a apresentar suas vantagens e contribuições para a fertilidade do solo. Apesar da serapilheira ser um dos fatores influentes nesse processo a calagem se mostrou grande responsável pela maior disponibilidade de nutrientes e que a quantidade de serrapilheira depositada nos sistemas agroflorestais ainda não são suficientes ainda para, por si só, manter a fertilidade do solo, sendo necessária o aumento da quantidade de leguminosas e ou de outras espécies arbóreas no sistema.

Ressaltamos ainda a importância de modelos de agricultura mais autossustentáveis, principalmente em relação a agricultura familiar em que os agricultores familiares tem menores recursos e acessos a insumos agrícolas e apoio técnico. Van Leeuwen et al, (1999) avaliando o desenvolvimento de Sistemas Agroflorestais para a Amazônia, em um programa de pesquisa em que, assim como esse trabalho, os agricultores tem um papel ativo afirma que a adaptação as condições do produtor de sistemas agroflorestais desconhecidos e um processo lento e a maioria dos sistemas precisa de muito mais tempo do que dois anos para que suas possíveis vantagens possam ser evidenciadas com mais clareza.

Estudando sistemas agroflorestais de pequena escala no município de Manaus, Silva (2012) verificou que as espécies mais utilizadas são espécies nativas, com predomínio de espécies agrícolas e salienta a importância da família Fabaceae, mais conhecidas como leguminosas pela capacidade de fixação de nitrogênio.

8. ANEXOS



Figura 1: Cultivo de café em pleno sol, onde: a) é referente ao ER1, b) é referente ao ER2 e c) é referente ao ER3

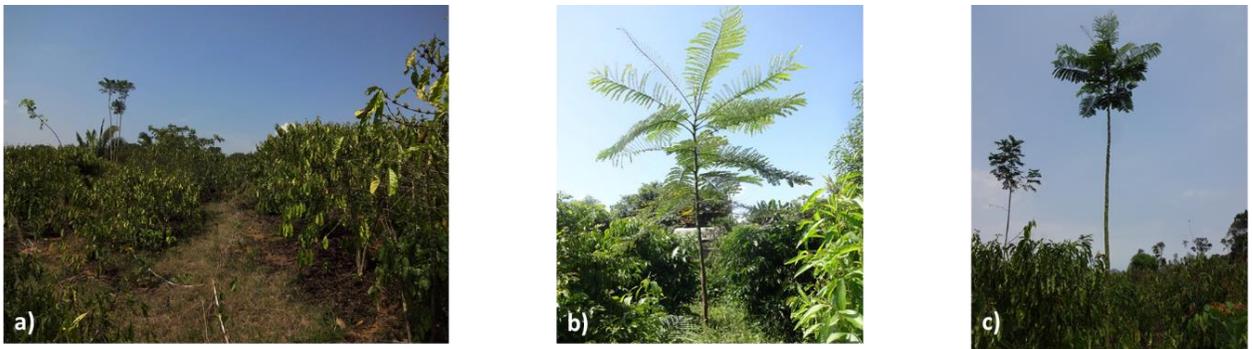


Figura 2: Cafezais em transição para SAF's, onde: a) é referente ao ER1, b) é referente ao ER2 e c) é referente ao ER3.



Figura 3: Áreas de floresta remanescente, onde: a) é referente ao ER1, b) é referente ao ER2 e c) é referente ao ER3.