

ANÔR FIORINI DE CARVALHO

**ÁGUA E RADIAÇÃO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM CAFÉ
NO TERRITÓRIO DA SERRA DO BRIGADEIRO – MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2011

ANÔR FIORINI DE CARVALHO

**ÁGUA E RADIAÇÃO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM CAFÉ
NO TERRITÓRIO DA SERRA DO BRIGADEIRO - MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 22 de março de 2011

Prof^ª. Irene Maria Cardoso
(Coorientadora)

Prof. Ricardo Henrique Silva Santos

Pesq. Paulo César de Lima

Prof. Genelício Crusóé Rocha

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho
(Orientador)

Dedico

À minha esposa Flávia.

Aos meus pais Anôr (*in memoriam*) e Hilda.

Aos meus filhos Ítório, Caelum e Luigi.

Aos meus irmãos Afonso, Regina, Alex, Woodson e Andréa.

AGRADECIMENTOS

Ao povo brasileiro, nas figuras da Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal Docente (CAPES) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos (DPS), pela oportunidade de realizar este curso.

Aos agricultores familiares da Zona da Mata, em especial de Araponga, nas pessoas do Romualdo e do João dos Santos, por me receberem e comungarem a intenção de experimentar a aventura de aprender com a natureza e gerar conhecimentos que beneficiem toda a sociedade brasileira. Sem eles, este trabalho seria percorrer um caminho sem sentido e direção.

Ao Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho pela orientação e companheirismo.

À Prof^a Irene Maria Cardoso, por compartilhar o ideal de construir um mundo mais justo e equânime social e ambientalmente.

Aos Profs. Cristine, Mauricio e Raphael, pelo apoio pessoal.

Aos Profs. Carlos Ernesto, Aristides, Genelício, Ricardo e ao pesquisador Paulo Lima, pelas contribuições na execução do projeto e na preparação do texto final.

A todas as meninas da secretaria e aos funcionários do DPS, na pessoa de D. Sônia do Carmo Almeida, pelo ambiente de trabalho prazeroso.

Ao CTA, por me abrigar literalmente e dividir virtualmente a missão de propor o enfoque agroecológico para promover o desenvolvimento dos agricultores familiares da Zona da Mata de Minas Gerais.

Ao povo holandês, por me facilitar enxergar as virtudes do nosso país e propor soluções para as nossas dificuldades.

À minha mãe, pela inspiração para perseverar e pelas orações que transcendem esse mundo material. Ao meu pai, pelo exemplo de compromisso e apoio incondicional.

A todos os meus irmãos e irmãs, em especial à Regina por receber meus filhos como seus.

Aos meus queridos filhos por terem me acompanhado ao longo desta jornada.

A todos os companheiros/as do projeto Cores da Terra, nas pessoas do Pedrinho, do Marcelo e do Fernando por pintarmos esse mundo juntos com novas idéias.

À minha querida esposa Flávia, pela cumplicidade e companhia nos momentos difíceis e por temperar magnificamente os momentos de júbilo.

SUMÁRIO

Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
 CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Problemas e perguntas	1
1.2 O contexto histórico da implantação de sistemas agroflorestais na Zona da Mata de Minas Gerais	4
1.3 Apresentação dos capítulos da tese	11
Referências bibliográficas	12
 CAPÍTULO 2	
CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DA ÁREA DE ESTUDO.....	15
Introdução	15
2.1 A oferta de radiação no Território da Serra do Brigadeiro.....	16
Metodologia	17
Resultados	17
Conclusões	31
2.2 Classes de solo no município de Araponga	32
Introdução	32
Metodologia	33
Resultados e discussão	34
Considerações finais	51
Referências bibliográficas	52

CAPITULO 3

CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS E BALANÇO HÍDRICO DO SOLO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO MUNICÍPIO DE ARAPONGA-MG	54
Introdução	54
Metodologia	56
Seleção e caracterização das áreas de estudo	56
Sistema agroecológico I – SAF _I e SPS _I	58
Sistema agroecológico II – SAF _{II} e SPS _{II}	59
Análises físicas e índice de capacidade de água disponível (ICAD)	60
Índice da área foliar e radiação transmitida	61
Dados meteorológicos, umidade do solo e balanço hídrico	62
Resultados e discussão	63
Considerações finais	84
Referências bibliográficas	85

CAPÍTULO 4

DINÂMICA HÍDRICO-TÉRMICA DO SOLO EM CULTURA DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.) SOB SISTEMAS AGROFLORESTAL E A PLENO SOL, MANEJADOS POR AGRICULTORES FAMILIARES	89
Introdução	89
Material e Métodos	92
Caracterização geral da região	92
Caracterização da área de estudo	93
Avaliação da perda de solo e água e cobertura vegetal	95
Análises físicas e matéria orgânica	95
Avaliação da precipitação, temperatura e umidade do solo	96
Cálculo do índice da capacidade de água disponível (ICAD).....	94
Resultados e discussão	98
Conclusões	110
Referências bibliográficas	111

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	114
--	-----

RESUMO

CARVALHO, Anôr Fiorini de, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2011. **Água e radiação em sistemas agroflorestais com café no Território da Serra do Brigadeiro – MG.** Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Coorientadores: Irene Maria Cardoso e Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud. Schaefer.

Os sistemas agroecológicos de produção de café sombreados com árvores (SAF) e a pleno sol (SPS), implementados por agricultores familiares na Zona da Mata de Minas Gerais, não foram completamente estudados quanto à economia de água e temperatura. Esse estudo avaliou esses fatores nesses sistemas. Foram selecionados SAFs e SPSs contíguos no município de Araponga-MG. Foram monitorados com base horária durante 16 meses: a precipitação, a velocidade do vento, a radiação, a umidade do ar, a temperatura do ar e do solo a 0,1 m de profundidade, a umidade do solo a 0,1, 0,3 e 1,0 m de profundidade com reflectômetros, além das perdas de solo e água superficiais, associados com a cobertura vegetal. As perdas de solo e água em ambos os sistemas foram muito pequenas, devido à elevada cobertura vegetal. A temperatura do solo a 0,1 m foi atenuada nos SAFs em relação aos SPSs. Os SAFs reduziram a amplitude de variação da temperatura média do ar em relação aos SPSs e atenuaram as temperaturas máximas. A umidade do solo nos SAFs foi menor do que nos SPSs, nas três profundidades durante todo o período. Nos SAFs houve complementaridade de absorção de água entre o café e as árvores ao longo do ano. Os SAFs e os SPSs podem ser utilizados para manejar o destino da água das chuvas, com ênfase para a atmosfera no primeiro sistema e para abastecer o lençol freático no segundo.

ABSTRACT

CARVALHO, Anôr Fiorini de, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2011.
Water and radiation in agroforestry systems with coffee of Território da Serra do Brigadeiro – MG. Adviser: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Co-advisers: Irene Maria Cardoso and Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud. Schaefer.

Agroforestry (AF) and full sun (FS) agroecological systems with coffee, which were set down by smallholders in Zona da Mata de Minas Gerais, have not been studied for water economy and temperature. This study evaluated these factors for these systems. Neighboring AFs and FSs systems were selected in Araponga-MG. During 16 months were hourly monitored: rainfall, wind speed, radiation, air moisture, air temperature, soil temperature at 0,1 m, soil water content at 0,1 m, 0,3 m and 1,0 m with reflectometers and soil and water surface loss joined with soil cover. Soil and water loss of both systems were small due to the high soil cover. Soil temperature was depressed under AF system. Air temperature under AF had less variation than under FS and lower maximum temperatures. Soil moisture of AF was lower than FS for all depths in all monitored period. There was water absorption complementarity between coffee and trees in AF system. AF and FS systems may be used to manage the destiny of rainfall water, mainly for atmosphere in the first and deep drainage in the second.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta no item 1.1 o problema pesquisado nesta tese, explicitando a pergunta principal e as associadas respondidas durante o decorrer do trabalho. O item 1.2 apresenta o contexto histórico da região onde os estudos de campo foram conduzidos. O item 1.3 descreve sumariamente os capítulos que propõem as respostas para as perguntas anunciadas.

1.1 Problemas e perguntas

As regiões montanhosas possuem uma grande diversidade de ambientes ecológicos resultantes de suas características físicas extremamente variáveis, especialmente a declividade e a exposição solar, controladas pelo relevo (Craswell *et al.*, 1998; Facco *et al.*, 2009). A agricultura desenvolvida nessas regiões sempre cumpriu um papel importante ao longo da história da humanidade, pois abrigou contingentes significativos da população (Garrity & Augustin, 1995; Lebel & Daniel, 2009). Os agricultores dessas regiões acumularam conhecimentos empíricos sobre as características desses ambientes e desenvolveram sistemas de produção que utilizam as vantagens singulares de cada um deles. Esses sistemas são de uso intensivo de trabalho, uma vez que a topografia impede a aplicação intensiva de mecanização. Além disso, a diversidade das características ambientais dificulta a implantação de sistemas homogêneos de produção. Esse conjunto de fatores contribui para explicar o sucesso de sociedades agrícolas na ocupação de regiões montanhosas (Altieri, 2002). Dentre as culturas que sustentam os agricultores familiares nas regiões montanhosas dos continentes asiático, africano e sul-americano, a cultura do café ocupa lugar de destaque (Herzog, 1994; Craswell *et al.*, 1998; Lin, 2010; Cannavo, 2011). Portanto, estudos que

viabilizem essa cultura contribuem significativamente para a sustentação social de importante parcela da população rural nessas regiões.

Dentre os sistemas de produção de café adotados nas regiões montanhosas destacam-se os que utilizam os princípios agroecológicos (Beer *et al.*, 1998). A agroecologia propõe a incorporação da lógica da sucessão vegetal, da ciclagem de nutrientes e da biodiversidade nos sistemas agrícolas, num processo em que os agricultores participam do desenho e avaliação dos modelos, para alcançar a redução da aplicação dos insumos externos e do uso de agrotóxicos (Altieri, 1995). Dentre os sistemas agroecológicos, Sommariba (1992) distingue os que manejam o estrato herbáceo, composto das plantas espontâneas ou de leguminosas cultivadas dos que incorporam o estrato arbóreo, chamados de sistemas agroflorestais (SAFs), cumprindo funções de cobertura, ciclagem de nutrientes e diversificação da produção, dentre outras (Altieri, 1999). Os SAFs com café são exemplos de aplicação dessa lógica de sucessão de cultivos que se complementam (Lin *et al.*, 2008).

Os sistemas agroflorestais são promissores também frente às perspectivas de mudanças climáticas (IPCC, 2007; Lin, 2007). O aquecimento global é reconhecido como uma transformação ambiental em curso (Wise & Cacho, 2005). As previsões das consequências desse fenômeno anunciam mudanças radicais nos sistemas de produção e sugerem dois tipos de estratégias: de redução e de convivência (Verchot *et al.*, 2007). A proposição da redução da emissão dos gases de efeito estufa e a fixação de carbono na biomassa são reconhecidas como formas de redução do aquecimento global diretamente ligado aos sistemas de produção agrícola (Wise & Cacho, 2005; Rockstrom *et al.*, 2009). Dentre esses, os sistemas agroflorestais podem acumular maiores quantidades de carbono na parte aérea do que os sistemas em que as árvores não participam (Verchot *et al.*, 2007; Lin *et al.*, 2008).

Além dos aspectos ligados ao clima, a sociedade contemporânea considera a agricultura como uma atividade que contribui para a saúde do planeta como um todo. As questões ligadas à captação, armazenagem e fornecimento de água para os mananciais, a captação e ancoragem do carbono, a captação e acúmulo da energia radiante na biomassa como fonte renovável, são exemplos da importância dos sistemas agrícolas para garantir as condições favoráveis para a sustentação da nossa sociedade civilizada (Lele, 2009). Dessa forma, a sociedade tem assumido a responsabilidade de atribuir e recompensar a atividade agrícola como prestadora de serviços ambientais (Baggethun *et al.*, 2010; Klemick, 2010). Atualmente são muitos os exemplos de iniciativas que, além de formas

indiretas de estímulo, passaram a remunerar os produtos ambientais da agricultura (Lebel & Daniel, 2009; Farley & Constanza, 2010).

Portanto, diante dos argumentos apresentados, a pergunta geradora principal assumida nessa dissertação é:

Os sistemas agroflorestais contribuem para agregar os serviços ambientais associados à cultura de café arábica na agricultura familiar de regiões montanhosas?

As perguntas associadas a essa pergunta principal, estão ligadas aos serviços ambientais que a atividade agrícola dessas regiões pode proporcionar. Em linhas gerais, os serviços ambientais que os sistemas agroflorestais manejados por agricultores familiares de regiões montanhosas podem proporcionar são: captação, armazenagem e fornecimento de água; captação, armazenagem e conversão da radiação acumulada em biomassa para energia renovável, alimentos e material construtivo; captação, armazenagem e ancoragem de carbono; atenuação dos processos erosivos e mitigação dos efeitos do aquecimento global.

Tomando esses serviços como balizadores do processo inquiridor, lidamos com as seguintes perguntas associadas:

Os sistemas agroflorestais com café contribuem para otimizar o uso da água das chuvas em regiões montanhosas?

Os sistemas agroflorestais com café contribuem para otimizar o uso da radiação incidente em regiões montanhosas?

A presença de árvores contribui para mitigar os efeitos do aquecimento global, notadamente sobre a temperatura em sistemas de produção de café?

Objetivando responder a pergunta principal desdobrada nas perguntas associadas, foram monitoradas as características meteorológicas e de umidade do solo em sistemas agroflorestais com café em níveis baixo e alto de sombreamento.

Os sistemas selecionados para o monitoramento estão localizados na Zona da Mata de Minas Gerais. O item 1.2 a seguir, apresenta o contexto histórico do desenvolvimento do método de plantio a pleno sol que predomina nessa região e a gênese das propostas que culminaram com a implantação de sistemas agroflorestais como opção de uso da terra para prestação de serviços ambientais em regiões montanhosas.

1.2 O contexto histórico da implantação de sistemas agroflorestais na Zona da Mata de Minas Gerais

Os sistemas agroflorestais são utilizados em algumas regiões do Brasil e do mundo em que a vegetação original era florestal (Matsumoto, 2004). Apesar da Zona da Mata de Minas Gerais ter sido ocupada pela floresta Atlântica, os elementos arbóreos não foram incorporados nos sistemas agrícolas adotados extensivamente. O histórico da ocupação agrícola dessa região revela os aspectos sociais, políticos e econômicos que contribuíram para a implantação de monocultivos, essencialmente de café, ainda que houvesse proposições de incorporação de elementos arbóreos nos sistemas produtivos.

Valverde (1958) fez uma revisão sobre a ocupação da Zona da Mata de Minas Gerais. Ele ressalta que essa região era povoada esparsamente por indígenas até o início do século XIX. O desenvolvimento da atividade mineradora do ouro no centro do Estado de Minas Gerais, a partir do século XVII, criou uma importância estratégica para a região perante a coroa portuguesa. A Zona da Mata encontrava-se entre a área mineradora e os portos que escoavam as riquezas minerais e era coberta por densa floresta, conferindo uma proteção contra os desvios da produção sem o pagamento de impostos. Por isso, o governo português proibiu a ocupação extensiva da região até o início do século XIX. A primeira via de transporte do ouro foi o Caminho Velho que passava por Ouro Preto e chegava a Paraty em São Paulo. Essa via apenas tangenciava a Zona da Mata.

A construção do Caminho Novo que bifurcava em Borda do Campo (hoje Barbacena) cortou literalmente a Zona da Mata, dando acesso ao porto do Rio de Janeiro. O volume de riquezas que trafegou por essa via foi de tal monta que justificou a transferência da capital da colônia, antes em Salvador na Bahia, para a cidade de S. Sebastião do Rio de Janeiro (Lamas *et al.*, 2003). A ocupação agrícola era permitida apenas no entorno dos pontos de pouso das tropas de animais que transportavam as riquezas. No início do século XIX, quando o Brasil se torna independente, o ouro amarelo passa a ser substituído pelo ouro negro, o café. Nessa época a cultura do café se estendia progressivamente pelo vale do rio Paraíba do Sul. O declínio da mineração e a ascensão do comércio internacional do café selam definitivamente a intenção do governo

de favorecer as atividades agrícolas na Zona da Mata. Os interesses da coroa justificaram o sistema de ocupação por meio da concessão de ocupação das terras, para garantir o controle político sobre a sociedade e ampliar a marcha do café para além das fronteiras do vale do rio Paraíba. A possibilidade de venda de terras para agricultores que praticavam a diversificação da produção foi, não somente desestimulada como controlada diretamente com o sancionamento da Lei de Terras de 1850, que, dentre outras medidas, limitava inclusive a partilha, dando direitos de posse aos filhos primogênitos, dificultando a divisão das propriedades e preservando a estrutura latifundiária (Valverde, 1958).

Scott (1998) argumenta que a gênese e fortalecimento do estado moderno na Europa, Ásia e África tomaram por base uma lógica simplificadora para alcançar o controle sobre a população e a arrecadação de impostos sobre os produtos. Muitas vezes os resultados eram positivos, no entanto, foram muito frequentes os desastres para o conjunto da sociedade. Esse autor enfatiza que nessas regiões a população rural explorava o espaço de forma coletiva e móvel. O estado transformou essa realidade muitas vezes utilizando a força coercitiva. Um exemplo dessa situação ocorreu na Tanzânia no início da década de 1970, onde as comunidades pastoralistas que tinham habitações móveis e detinham rebanhos coletivos, aproveitando as pastagens de acordo com a sua potencialidade, foram fixadas em vilas sob o controle de agentes estatais no curto período de 3 anos. Com isso o estado pode ter ascensão política sobre a população e garantir a arrecadação de impostos. Entretanto, a exigência de fixarem moradia em vilas e assumirem a posse individual da terra, restringiu a possibilidade de manejo do gado, sobre-explorando as pastagens limitadas por cercas. Além disso, as técnicas de manejo dos recursos naturais aprendidas e aperfeiçoadas por muitas gerações não eram adequadas ao novo sistema, o que causou declínio brutal da produção e escassez de alimentos.

A lógica simplificadora apontada por Scott (1998) encontra um paralelo na política adotada pelo governo colonial brasileiro para a ocupação do vale do rio Paraíba do Sul e reproduzida na Zona da Mata mineira. A intervenção e controle sobre a ocupação do território foi alcançada com o reducionismo econômico da produção singular, representada num primeiro momento pela atividade mineradora do ouro e substituída posteriormente pela monocultura exportadora do café. Os conhecimentos acumulados sobre o uso da terra pelos indígenas que habitaram o país antes da ocupação

portuguesa não contribuíram para constituir os sistemas de produção que, no curto espaço de tempo do século XIX, transformaram radicalmente a paisagem da região.

O resgate da crítica ambiental no Brasil escravista realizado por Pádua (2002) revela a importância dada às riquezas florestais do país. Esse autor demonstra que o papel reservado às árvores era o de apoio aos sistemas produtivos. Não havia produção efetiva de produtos colhidos ou madeira exportada com valores que justificassem o interesse do estado no estímulo ao plantio ou preservação de árvores. A lógica extrativista que permeou a mineração foi mantida na exploração florestal. As madeiras nobres não tinham lugar expressivo na balança comercial e era impossível estabelecer qualquer sistema direto de taxaço do seu uso direto ou indireto. A preocupação com essa riqueza foi tão inexpressiva que a destruição do estoque das madeiras nobres ao longo da costa brasileira dificultou até mesmo a fundação de um estaleiro para construção de embarcações de grande porte para a navegação comercial no nosso litoral.

Dean (2004) fez um relato minucioso do desaparecimento do bioma da Mata Atlântica em toda a extensão do território brasileiro desde os tempos coloniais até o século XX. Esta etapa da história brasileira coloca em evidência a relação íntima entre o sistema social e os sistemas de produção. Nas regiões ocupadas com plantio de café as florestas eram cortadas e o plantio dependia da fertilidade natural dos horizontes superficiais do solo. A princípio os plantios eram feitos em encostas sem qualquer alinhamento das plantas entre os troncos derrubados aleatoriamente, favorecendo a retenção do solo. No entanto, a grande expansão das lavouras assumiu o alinhamento linear dos pés de café. Os troncos das árvores eram derrubados preferencialmente ao longo das pendentes do relevo para permitir o plantio em fileiras retas. A justificativa para adotarem esse procedimento estava no controle efetivo da mão-de-obra escrava. Para que os feitores pudessem ter à vista o trabalho dos cativos era preciso linhas regulares. Em relevo acidentado isso só é possível no sentido radial das elevações. Qualquer outra direção de plantio deixaria os escravos fora de controle. Ou seja, a posse concentrada da terra alicerçada no trabalho escravo determinou a erosão acelerada e a redução da vida útil das lavouras. Essa técnica de plantio foi incorporada de tal forma no legado cultural da agricultura que marcou a paisagem das regiões produtoras de café na Zona da Mata mineira até a década de 1970, ou seja, 150 anos depois, conforme discutido adiante.

Ainda que a ação do estado tenha sido hegemônica no processo de ocupação da terra e influenciado decisivamente os sistemas de produção adotados na Zona da Mata, a

preocupação com os destinos dos recursos naturais e, conseqüentemente, com a sustentabilidade econômica do país, surpreendentemente esteve presente nas idéias de inúmeros líderes políticos, intelectuais e até mesmo de proprietários rurais desde 1768. Pádua (2002) faz um resgate dessas críticas e revela que muitas das soluções técnicas consideradas adequadas pelo conhecimento atual foram propostas no período colonial brasileiro. O expoente máximo do pensamento político e crítica ambiental no período colonial brasileiro foi o patriarca da independência, José Bonifácio de Andrada e Silva. As idéias conservacionistas que estiveram presente nos seus depoimentos e discursos políticos colocavam em questão dois aspectos básicos, a posse concentrada da terra que resultava no caráter extensivo da ocupação e o trabalho escravo que se contrapunha à possibilidade do uso intensivo de máquinas e métodos de plantio conservadores.

Muitas foram as propostas de soluções para a deterioração das terras resgatadas por Pádua (2002). Dentre elas ressaltamos o Congresso Agrícola, patrocinado pelo então Ministro da Agricultura, Comércio e Obras Públicas em 1878. Três perguntas nortearam as discussões sobre o futuro da agricultura nacional nesse congresso. A primeira colocava em questão a falta de braços, já que o regime de escravidão estava em processo de extinção. A segunda levantava os problemas de crédito para o avanço da atividade em novas áreas, surgidos com as dificuldades financeiras provocadas pela Guerra do Paraguai. A terceira questionava os aspectos técnicos e administrativos do sistema com baixa produtividade e competitividade internacional. Dentre as intervenções durante o congresso, destaca-se a de um agricultor de Paraíba do Sul que afirma que mesmo que houvesse braços e capitais abundantes as lavouras degradariam os solos das matas restantes e resultariam na extinção da atividade agrícola. As soluções propostas por esse agricultor incluíam a divisão das grandes propriedades e a criação de núcleos de colonização com a introdução de práticas tais como o uso do arado, a estrumação, a poda e a criação de animais. Apesar da argumentação contundente baseada nos exemplos das cidades do Vale do Paraíba que já se encontravam em plena decadência econômica e social, as observações desse agricultor não mereceram comentários e apartes ao longo do congresso. Outro exemplo registrado por Pádua encontra-se nas publicações do Brasil Imperial com o questionamento do sistema de derrubada e queima sumária das florestas, tais como o de um fazendeiro de Cantagalo, município do Vale do Paraíba, que defendeu a adoção de inúmeras técnicas. Dentre essas técnicas ressaltamos a sua sugestão de aperfeiçoar o plantio do café sob a sombra das florestas, chegando inclusive a propor experimento na floresta da Tijuca, que estava sendo regenerada nas encostas da cidade

do Rio de Janeiro. Apesar das evidências nefastas do sistema extensivo de produção e das proposições de alternativas, a aristocracia rural manteve o seu poder político inabalado. Nem a abolição da escravidão e nem a proclamação da república alteraram a lógica extrativista da atividade agrícola.

O estudo de Prates (1906) descreve as relações de trabalho estabelecidas na Zona da Mata logo após a abolição da escravidão. A mão-de-obra nas propriedades da Zona da Mata passou a ser gerida pelo sistema da meação ou diária, onde as famílias de agricultores tinham a permissão para estabelecerem residência e dedicarem parte de seu tempo no trabalho para os proprietários. Paralelamente essas famílias tiveram acesso à terra pelos acordos de parceria ou meagem. Esse sistema interessava diretamente aos proprietários para garantir a continuidade de produção das lavouras de café. Uma vez que a produção de alimentos para a subsistência das famílias era essencial, os acordos de parceria incluíam a possibilidade de uso de algumas áreas disponíveis tais como as várzeas úmidas com a produção de arroz, as entrelinhas de plantio de café em consórcios de feijão e milho e áreas isoladas para outras culturas como a mandioca. Entretanto, não havia permissão para uso desses espaços com culturas alimentares perenes nem com árvores que exigissem intervalos de tempo mais ampliados e reduzissem a autonomia de decisão dos proprietários sobre as suas posses. Portanto, ainda que os agricultores familiares tivessem uma lógica de produção diversificada, o espaço de manobra para experimentarem consórcios e inclusão de espécies arbóreas era praticamente inexistente. Os proprietários sempre determinavam o que plantar, onde plantar e quando plantar.

Ainda que as florestas primárias tivessem sido eliminadas em toda a Zona da Mata já no final do século XIX, o vigor da atividade agrícola cafeeira ainda encontrou meios de ser mantido pelo uso das áreas de mata secundária em pousio (Valverde, 1958). Essa argumentação encontra amparo nas constatações de que registra a cultura do café como

A redução do tamanho das propriedades agrícolas na Zona da Mata teve início no início do século XX com as sucessivas partilhas por herança e decadência econômica dos grandes latifúndios (Carrara, 1999). Os herdeiros passaram a administrar propriedades cada vez menores e os agricultores familiares iniciaram o processo de aquisição de terras. Ao longo desse século a Zona da Mata alcançou a condição de região com grande número de minifúndios. Os agricultores passaram a praticar uma agricultura sustentada na diversificação da produção para a subsistência e em uma atividade para acesso ao mercado (Valverde, 1958). A produção do café continuou a

cumprir essa última função na Zona da Mata durante todo o século. Lamas *et al.* (2003) registra que o café dessa região chegou a ser responsável por 78,02 % da arrecadação total do Estado de Minas Gerais na década de 1920. Caixeta *et al.* (1978) reafirmam a importância dessa cultura nas décadas de 1960 e 1970. Entretanto, tanto os herdeiros por direito quanto os novos proprietários tinham uma herança comum, a experiência de praticar uma agricultura com base em métodos extensivos, originalmente itinerante. A prática do plantio e manejo de árvores e florestas não esteve presente de forma marcante no contexto dos agricultores da Zona da Mata (Dean, 2004).

A influência direta das políticas públicas sobre os sistemas de produção apresenta um capítulo contundente no processo de inversão do sentido de plantio de café na Zona da Mata. Caixeta *et al.* (1978) estudaram o efeito do plano de revigoração da lavoura cafeeira implementado pelo governo brasileiro no final dos anos de 1960 sobre essa atividade na Zona da Mata mineira. Tomando por base o ano agrícola de 1975/76, esses autores constataram que, das lavouras estabelecidas até o ano de 1960, apenas 6,9 % tinham sido plantadas em nível. Das lavouras implantadas entre 1960 e 1969, 11,11 % adotaram a prática. De forma contrastante, a partir de 1969, depois da iniciativa governamental de financiamento de novas lavouras, que exigia a adoção dessa técnica, cerca de 91,52 % das lavouras foram plantadas em nível. Ainda que as informações tecnológicas e os serviços de extensão rural estivessem disponíveis para auxiliar a tomada de decisão dos agricultores nas décadas de 1960 e 1970, a política pública foi a indutora da mudança. Nesse caso, as observações judiciosas de Carlos Taunay feitas em 1830 (Pádua, 2002) de que:

“ As matas e caatingas das fraldas íngremes e barrancos merecem igualmente serem poupadas. Quem observar semelhantes regras nos seus roçados será premiado pela conservação dos declives ”

necessitaram de 140 anos para serem praticadas. Durante todo esse período o governo dispunha do instrumento de crédito para contribuir com as mudanças, mas o compromisso político com a aristocracia do café determinou a manutenção do sistema de produção. Nesse contexto, carecemos de uma interpretação sobre as condições políticas que determinaram a ausência das árvores nos sistemas agrícolas da Zona da Mata.

A partir de meados do século XX a política governamental brasileira favoreceu a difusão das práticas modernizadoras propostas pela revolução verde (Bacha, 1988; Conway, 1997). Os pacotes tecnológicos incluíam adubações químicas, calagem e o uso de agrotóxicos (Caixeta, 1978). Entretanto, a lógica da diversificação foi ignorada nos

pacotes tecnológicos difundidos. Nos anos 80 a crise internacional dos preços do café e o corte dos subsídios aos produtos industriais associados à eliminação do crédito agrícola submeteram os agricultores familiares às dificuldades de manutenção da atividade agrícola em toda a região (Oliveira, 1985; Cardoso & Ferrari, 2006).

Nos anos 90 surgiram propostas para solucionar os problemas gerados pela agricultura baseada em insumos externos e dependência do mercado instável (Norgaard & Sikor, 1995). Os conhecimentos gerados pela pesquisa até então não contemplavam a lógica da diversificação da produção e da reciclagem dos nutrientes. A agroecologia foi uma dessas propostas. Dois movimentos internacionais moldaram o berço da agroecologia. O movimento ambientalista, que colocava em discussão a preservação dos recursos naturais e os movimentos organizados da sociedade civil, que assumiram progressivamente o poder político para influenciar as decisões governamentais na América Latina, desenharam os contornos da proposta agroecológica (Cintrão, 1996; Cerqueira, 1993).

O movimento político estimulou a formação de grupos organizados de agricultores familiares na figura dos sindicatos e associações de trabalhadores rurais. O movimento ambientalista estimulou o resgate e aperfeiçoamento de práticas agrícolas que assumissem os conhecimentos da ecologia. Essas duas vertentes ganharam forma e vida institucional em organizações não governamentais. Neste contexto emerge o Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA-ZM) fruto da reunião de sindicatos de trabalhadores rurais da Zona da Mata e profissionais egressos da Universidade Federal de Viçosa. Desde o início o CTA_ZM utiliza metodologias participativas para o desenho de sistemas agroecológicos, tendo o agricultor como um experimentador das práticas no âmbito das propriedades desde o nascedouro dos desenhos das técnicas. Além disso, estabelece parcerias diretas com instituições governamentais, em especial a Universidade Federal de Viçosa e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Lima *et al.*, 2005; Moura *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2010).

Os sistemas agroecológicos propostos incluíram o uso de leguminosas e o manejo das plantas espontâneas para intensa cobertura do solo, redução de erosão e ciclagem de nutrientes. Além do manejo do estrato herbáceo, os desenhos dos sistemas incluíram a possibilidade do manejo do estrato arbóreo (Ferreira Neto & Carvalho, 1999). Os sistemas agroecológicos sombreados implantados utilizaram espécies nativas e exóticas consideradas úteis pelos agricultores. Esses sistemas foram desenhados e manejados pelos agricultores, com a assessoria do CTA-ZM e UFV. Os sistemas implantados foram

adaptados às condições locais, o que levou a uma grande diversidade de espécies florestais e desenhos (Siqueira, 2008). Algumas pesquisas ressaltaram inúmeros resultados positivos desses sistemas, contribuindo com a biodiversidade (Fernandes, 2007; Cardoso *et al.*, 2010), a ciclagem de nutrientes (Duarte, 2007) e a economia de água (Neves, 2001). Entretanto, as características micrometeorológicas e de umidade do solo não foram estudadas com detalhe nesses sistemas agroecológicos diversificados com diferentes densidades de árvores. Dessa forma, o estudo dessas características nos sistemas agroecológicos implantados na Zona da Mata de Minas Gerais contribui para responder a pergunta geral e as associadas explicitadas anteriormente.

1.3 Apresentação dos capítulos da tese

Os resultados dos estudos desenvolvidos nesta tese foram agrupados nos capítulos 2 a 5.

O capítulo 2 caracteriza o meio físico da área em que o estudo foi realizado. Dentre as características do meio físico foram abordados a radiação solar em uma escala regional nos municípios do Território da Serra do Brigadeiro e a ocorrência de solos na escala local em um polígono do município de Araçuaia. Esses aspectos são importantes para a compreensão dos fatores físicos determinantes do crescimento das espécies em sistemas agroecológicos.

O capítulo 3 tem como título “Condições microclimáticas e balanço hídrico do solo de sistemas agroflorestais do município de Araçuaia-MG”. Neste capítulo são apresentados os dados obtidos por estações meteorológicas automáticas instaladas em dois sistemas agroecológicos com diferentes densidades de árvores e sensores de umidade do solo em um deles. Esses dados permitem comparar o comportamento micrometeorológico dos sistemas com níveis alto e baixo de sombreamento, bem como fazer o balanço hídrico do solo para estimar os volumes de água evapotranspirados e drenados nesses sistemas.

O capítulo 4 aborda a “Dinâmica hídrico-térmica do solo na cultura de café (*Coffea arabica* L.) sob sistemas agroflorestal e a pleno sol, manejados por agricultores familiares”. Foram instalados conjuntos de sensores de umidade em três profundidades. Foram coletados dados da temperatura no dossel das plantas de café e na superfície do solo. Esses dados permitiram avaliar a influência da presença das árvores na economia de água e na temperatura para a cultura do café sob sistemas a pleno sol e agroflorestal.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais.

Referências bibliográficas

- Altieri, M. A. Agroecology: the science of sustainable agriculture. London UK. 1995. 433 p.
- _____. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.74, n.1-3, 1999/6, p.19-31. 1999.
- _____. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.93, n.1-3, 2002/12, p.1-24. 2002.
- Bacha, C. J. C. Evolução recente da cafeicultura mineira: determinantes e impactos. (DS). USP/FEA/DE, São Paulo, 1988. 110 p.
- Baggethun, E. G.; De Groot, R.; Lomas, P. L.; Montes, C. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, v.69, p.1209–1218. 2010.
- Beer, J.; Muschler, R.; Kass, D.; Somarriba, E. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agrofor. Syst.*, v.38, p.139-164. 1998.
- Caixeta, G. Z.; Nacif, J. M.; Teixeira, J. G. A cafeicultura da Zona da Mata de Minas Gerais. Série Programação. Belo Horizonte: 39. 1978
- Cannavo, P.; Sansoulet, J.; Harmand, J. M.; Siles, P.; Dreyer, E.; Vaast, P. Agroforestry associating coffee and *Inga densiflora* results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.140, n.1-2, 2011/1/30/, p.1-13. 2011.
- Cardoso, I. M.; Duarte, E. M. G.; Paula de Souza, M. E.; Carneiro, J. J.; Meier, M.; Fernandes, J. M.; Siqueira, L. C.; Garcia, F. C. P. Agrobiodiversidade em sistemas de produção agroecológica. In: L. C. E. A. Ming (Ed.). *Agrobiodiversidade no Brasil: experiência e caminhos da pesquisa*. Recife: NUPEEA, 2010. Agrobiodiversidade em sistemas de produção agroecológica, p.75-94
- Cardoso, I. M. ; Ferrari, E. A. Construindo o conhecimento agroecológico: trajetória de interação entre ONG, universidade e organizações de agricultores. *Agriculturas*: 28-32 p.<http://agriculturas.leisa.info> 2006.
- Carrara, A. A. Estruturas agrárias e capitalismo; contribuição para o estudo da ocupação do solo e da transformação do trabalho na zona da Mata mineira (séculos XVIII e XIX). Mariana: Univ. Fed. Ouro Preto. 1999. 141 p.
- Cerqueira, R. C. Estratégias de integração agroindustrial: os agricultores familiares e a Aracruz Celulose na Zona da Mata Mineira. (MS thesis). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1993. 373 p.
- Cinirão, R. P. ONGS, tecnologias alternativas e representação política do campesinato. (Ms Thesis). UFRRJ, Rio de Janeiro, 1996. 385 p.
- Conway, G. *The doubly Green Revolution: Food for All in the Twenty-First Century*. London: Penguin Books. 1997. 335 p.
- Craswell, E. T.; Sajjapongse, A.; Howlett, D. J. B.; Dowling, A. J. Agroforestry in the management of sloping lands in Asia and the Pacific. *Agroforestry Systems*, v.38, n.1-3, p.121-137. 1998.
- Dean, W. *A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira*. São Paulo: Companhia das letras. 2004. 484 p.

- Duarte, E. M. G. Ciclagem de nutrientes por árvores em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica. (MS). DPS, UFV, Viçosa, 2007. 132 p.
- Facco, A. G.; Ribeiro, A.; Sediya, G. S.; Leite, F. P.; Barros, N. F. Saldo de radiação em plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado. *R. Árvore*, v.33, n.3, p.471-480. 2009.
- Farley, J.; Costanza, R. Payments for ecosystem services: From local to global. *Ecological Economics*, v.69, p.2060–2068. 2010.
- Fernandes, J. M. Taxonomia e etnobotânica de Leguminosas Adams, em fragmentos florestais e sistemas agroflorestais na Zona da Mata Mineira. DBV, UFV, Viçosa, 2007. 78 p.
- Ferreira Neto, P. S.; Carvalho, A. F. Avaliação das Experiências de Agrosilvicultura Desenhadas pelo Programa Regional de Agrosilvicultura. CTA-ZM. Viçosa, p.10. 1999
- Garrity, D. P.; Augustin, P. C. Historical land use evolution in a tropical acid upland agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.53, p.83-95. 1995.
- Herzog, F. Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Côte d'Ivoire. *Agroforestry Systems*, v.27, p.259-267. 1994.
- IPCC-2007. Summary for Policymakers. Cambridge: Cambridge University Press. 2007. 7-22 p.
- Klemick, H. Shifting cultivation, forest fallow, and externalities in ecosystem services: Evidence from the Eastern Amazon. *J. Environ. Econ. Manage.*, v.doi: 10.1016/j.jeem.2010.07.003. 2010.
- Lamas, F. G.; Saraiva, L. F.; Almico, R. C. S. A Zona da Mata Mineira: Subsídios para uma historiografia., p.26. 2003.
- Lebel, L.; Daniel, R. The governance of ecosystem services from tropical upland watersheds. *Cur. Opi. in Envir. Sust.*, v.1, p.61–68. 2009.
- Lele, S. Watershed services of tropical forests: from hydrology to economic valuation to integrated analysis. *Cur. Opi. in Envir. Sust.*, v.1, p.148–155. 2009.
- Lima, P. C.; Cardoso, I. M.; Souza, H. N.; Moura, W. M.; Sá Mendonça, E.; Carvalho, A. F. Sistemas de produção agroecológicos e orgânicos dos cafeicultores familiares da Zona da mata mineira. *Informe Agrop.*, v.26, p.28-44. 2005.
- Lin, B. B. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.144, n.1-2, p.85-94. 2007.
- Lin, B. B. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.144, n.1-2, 2007/5/14/, p.85-94. 2010.
- Lin, B.B.; Perfecto, I.; Vandermeer, J. Synergies between agricultural intensification and climate change could create surprising vulnerabilities for crops. *BioScience*, v.58, n.9, p.847-854. 2008.
- Matsumoto, N. S. (org.). *Arborização de Cafezais no Brasil*. Vitória da Conquista - Bahia: UESB. 2004. 212 p.
- Moura, W. M.; Lima, P. C.; Souza, H. N.; Cardoso, I. M.; Sá Mendonça, E.; Pertel, J. Pesquisas em sistemas agroecológicos e orgânicos da cafeicultura familiar na Zona da mata mineira. *Informe Agrop.*, v.26, p.46-75. 2005.
- Neves, Y. P.; Martinez, H. E. P.; Souza, C. M.; Cecon, P. R. Crescimento e produção de *Coffea arabica*, fertilidade do solo e retenção de umidade em sistema agroflorestal. II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Vitória: EMBRAPA, 2001. 1678-1687 p.

- Norgaard, R. B.; Sikor, T. O. The methodology and practice of agroecology. In: (Ed.). *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*: Westview Press, 1995. The methodology and practice of agroecology
- Oliveira, E. P. A importância do café na formação da renda Agrícola na Zona da Mata, MG. (MS Thesis). UFV, Viçosa, 1985. 54 p.
- Pádua, J. A. Um sopro de destruição: Pensamento político e crítica ambiental no Brasil escravista (1786-1888). 2002. 318 p.
- Prates, C. A lavoura e a indústria na Zona da Mata. Belo Horizonte: Imprensa Oficial. 1906. 175 p.
- Rockstrom, J.; Steffen, W.; Noone, K.; Persson, A.; Chapin, F. S.; Lambin, E. F.; Lenton, T. M.; Scheffer, M.; Folke, C.; Schellnhuber, H. J.; Nykvist, B.; , Wit, C. A.; Hughes, T.; Van der Leeuw, S.; Rodhe, H.; , Sorlin, S.; Snyder, P. K.; Constanza, R.; Svedin, U.; e Falkinmark, M.; Karlberg, L.; Corell, R. W.; Fabry, V. J.; Hansen, J.; Walker, B.; Liverman, D.; Richardson, K.; Crutzen, P.; Foley, J. A safe operating space for humanity. *Nature*, v.461, p.472-475. 2009.
- Scott, J.C. Seeing Like a State: How certain schemes to improve the human condition have failed. New Haven and London: Yale University Press. 1998. 445 p.
- Siqueira, L. C. Levantamento florístico e etnobotânico de estrato arbóreo em Sistemas Naturais e Agroflorestais, Araponga. Minas Gerais. DBV, UFV, Viçosa, 2008. ?? p.
- Sommariba, E. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. *Agroforestry Systems*, v.19, p.233-240. 1992.
- Souza, H. N.; Cardoso, I. M.; Fernandes, J. M.; Garcia, F. C. P.; Bonfim, V. R.; Santos, A. C.; Carvalho, A. F.; Sá Mendonca, E. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. *Agroforestry Systems*, v.80, n.1, Aug, p.1-16. 2010.
- Valverde, O. Estudo Regional da Zona da Mata de Minas Gerais. *Rev. Bras. de Geografia*, v.20, n.1, p.3-83. 1958.
- Vandermeer, J.; Van Noordwijk, M.; Jo, A.; Chin, O.; Perfecto, I. Global change and multi-species agroecosystems: Concepts and issues. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.67, n.1, 1998/1, p.1-22. 1998.
- Verchot, L. V.; Van Noordwijk, M.; Kandji, S.; , Tomich, T. P.; Ong, C. K.; Albrecht, A.; Mackensen, J.; e Bantilan, C.; Anupama, K. V.; Palm, C. Climate change: Linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Mitig. Adapt. Strat. Glob. Change*, v.12, p.901-918. 2007.
- Wise, R.; Cacho, O. Tree-crop interactions and their environmental and economic implications in the presence of carbon-sequestration payments. *Environmental Modelling & Software*, v. 20, p.1139-1148. 2005.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DA ÁREA DE ESTUDO

INTRODUÇÃO

O capítulo 2 caracteriza o meio físico da área em que o estudo foi realizado. Dentre as características do meio físico foram abordados a radiação solar em uma escala regional e a ocorrência de solos em uma escala local. Esses aspectos são importantes para a compreensão dos fatores físicos determinantes do crescimento das espécies florestais e da cultura do café em sistemas integrados como os agroflorestais. O estudo de radiação solar tomou em consideração a face de exposição e a declividade da região do Território da Serra do Brigadeiro, localizado na Zona da Mata de Minas Gerais e abrangendo os municípios do entorno do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (PESB). A escala local detalha a ocorrência de solos de um polígono de 112,36 km², em sua maior parte no município de Araponga, a partir de uma imagem Ikonos de alta resolução. O capítulo 2 é composto de 2 subitens, cada um abordando uma dessas escalas.

2.1 A oferta de radiação no Território da Serra do Brigadeiro

Tomando em conta a questão da contribuição dos SAFs para otimizar o uso da radiação em sistemas de produção, apresentada no capítulo I, foi eleito o Território da Serra do Brigadeiro (TB), localizado na Zona da Mata da Minas Gerais (Figura 2.1.1), para um estudo da variabilidade da oferta de radiação em regiões montanhosas. Esse território foi escolhido por suas características fisiográficas e por abrigar sistemas agroflorestais implantados por agricultores familiares (CTA, 2004). Quanto à fisiografia, a área do TB tem relevo que varia de ondulado a escarpado, com altitudes variando entre 169 e 1.982 m de altitude. A combinação da variação tanto da forma do relevo quanto da declividade determina a ocorrência de estratos ambientais que recebem quantidades de radiação solar bastante distintas.

O TB abrange os municípios de Araponga, Divino, Ervália, Fervedouro, Miradouro, Muriaé, Pedra Bonita, Rosário da Limeira e Sericita. A área total do TB é de 2.953 km². Na porção norte da área está situada a Serra do Brigadeiro com alinhamento NE – SO, que divide as bacias do Rio Doce e do Rio Paraíba do Sul. Nessa serra encontram-se remanescentes da Mata Atlântica protegido pelo Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (PESB).

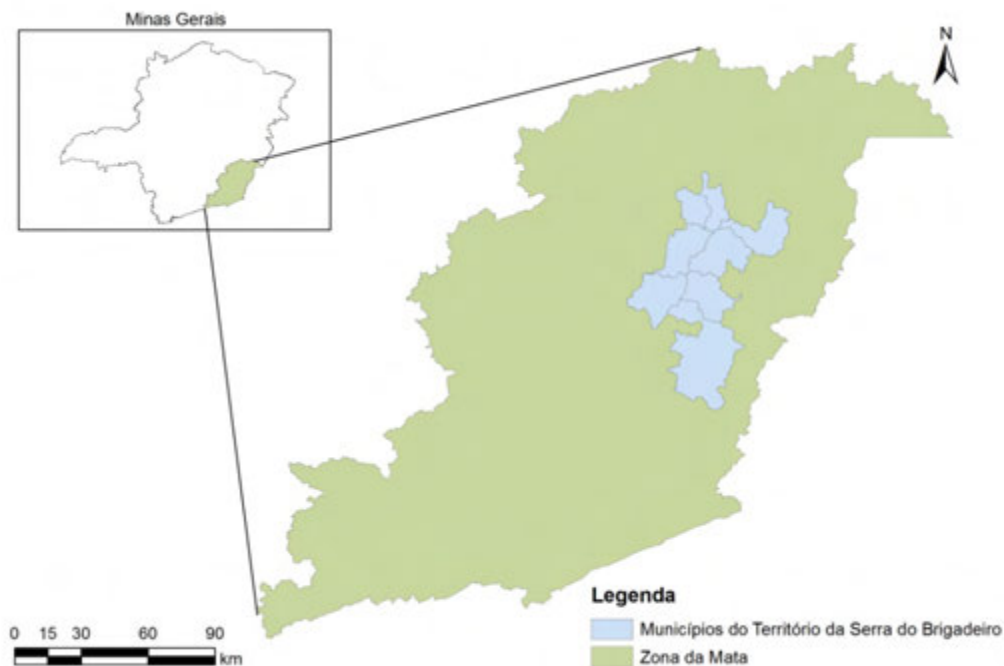


Figura 2.1.1. Localização do Território da Serra do Brigadeiro no Estado de Minas Gerais.

O TB foi constituído em 2003 pelo Programa de Desenvolvimento Territorial do Ministério do Desenvolvimento Agrário tomando em conta a identidade cultural e a marcante presença de agricultura familiar nos municípios e o patrimônio ambiental representado pelo PESB (CTA, 2004).

Metodologia

Os procedimentos metodológicos foram realizados em ambiente SIG do software ArcGis9.2. Foi construída uma base cartográfica de toda a área abrangida pelo TB no formato DGN e modificados para “shapefile” (SHP), a partir da união das curvas de nível de cartas topográficas digitais disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala 1:50.000, com curvas de nível de 20 m. Foi gerado um modelo digital de terreno (MDT) da área de estudo em formato matricial, com células de 20 m de lado (400 m^2), através da extensão “spatial analyst” e ferramenta “topo to raster”.

A partir do MDT foi calculada a radiação total anual incidente na troposfera, desdobrada em radiação direta e difusa, além do número de horas de luz para cada uma das células com 400 m^2 de área. Esse cálculo foi realizado pela ferramenta “solar analyst”. A declividade foi derivada do MDT pela extensão “spatial analyst” com a ferramenta “slope” opção porcentagem. As classes de declividade adotadas utilizaram os limites das fases de relevo assumidas por EMBRAPA (2006). A face de exposição solar foi gerada com a ferramenta “aspect” e adotou 5 classes, a saber: plano, norte, sul, leste e oeste. A altitude foi gerada a partir do MDE e adotou 6 classes, a saber: 169-400 m, 400-600 m, 600-800 m, 800-1000 m, 1000-1200 m e 1200-1982 m.

Utilizando as ferramentas “tabulate área”, foram calculadas as áreas totais das células para satisfazer as condições no intervalo das classes de: face de exposição x radiação total, direta, difusa e nº horas de luz; Classe de relevo x radiação total, direta, difusa e nº horas de luz; altitude x radiação total, direta, difusa e nº horas de luz; classe de relevo x altitude e classe de relevo x face de exposição.

Resultados

Os resultados estão nas figuras 2.1.2, com mapas de altitude, relevo e face de exposição e 2.1.3 para radiação total, radiação direta, radiação difusa e nº de horas de luz, respectivamente. Os quadros 2.1.4 a 2.1.12 contêm as áreas em km² das células que satisfazem as condições de: face de exposição x radiação total, direta, difusa e nº horas de luz; Classe de relevo x radiação total, direta, difusa e nº horas de luz; altitude x radiação total, direta, difusa e nº horas de luz; classe de relevo x altitude e classe de relevo x face de exposição.

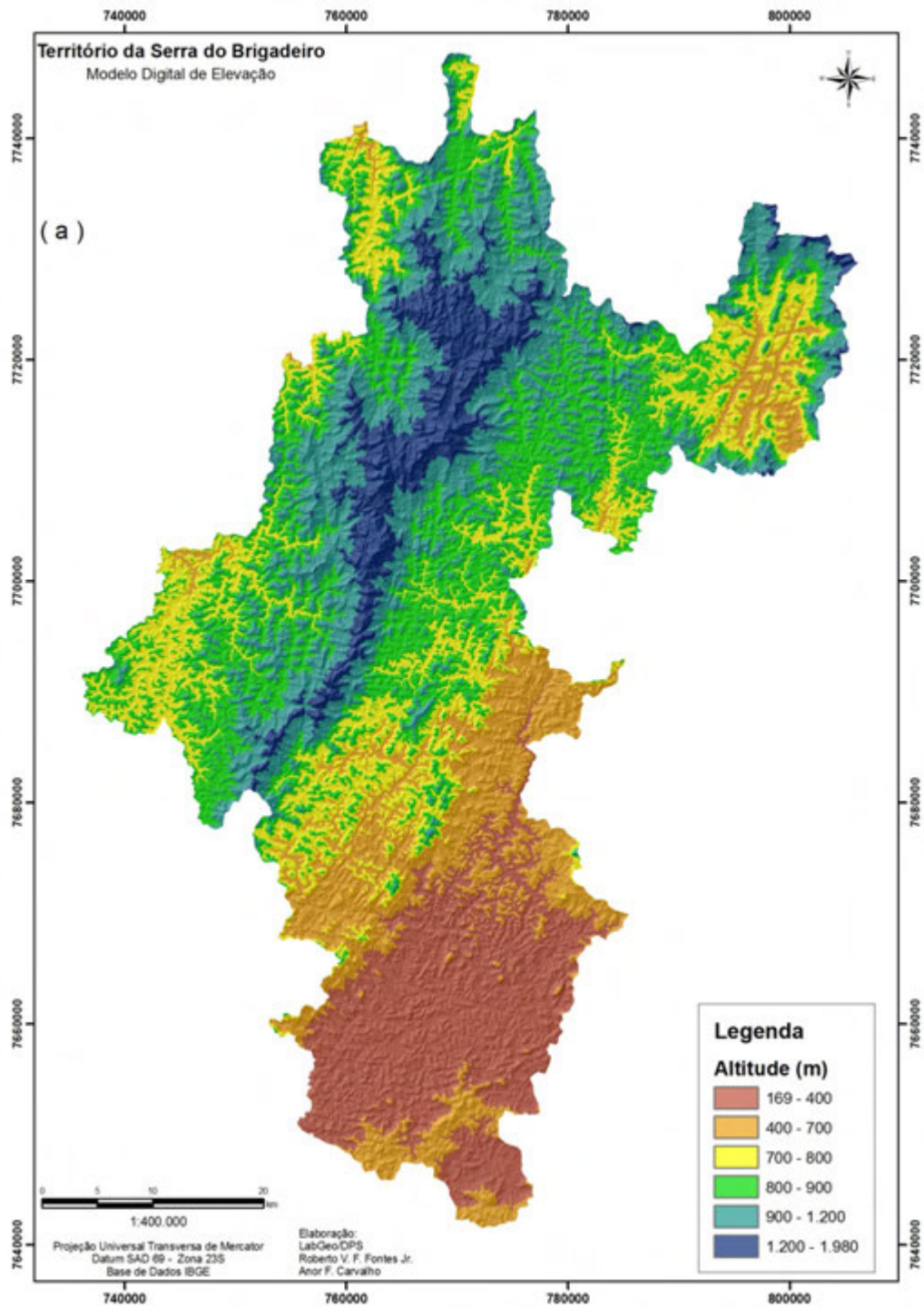


Figura 2.1.2. Modelo digital de elevação (a), relevo (b) e face de exposição (c) no Território da Serra do Brigadeiro, a partir de modelo digital de terreno gerado com células de 20 m de lado. (continua)

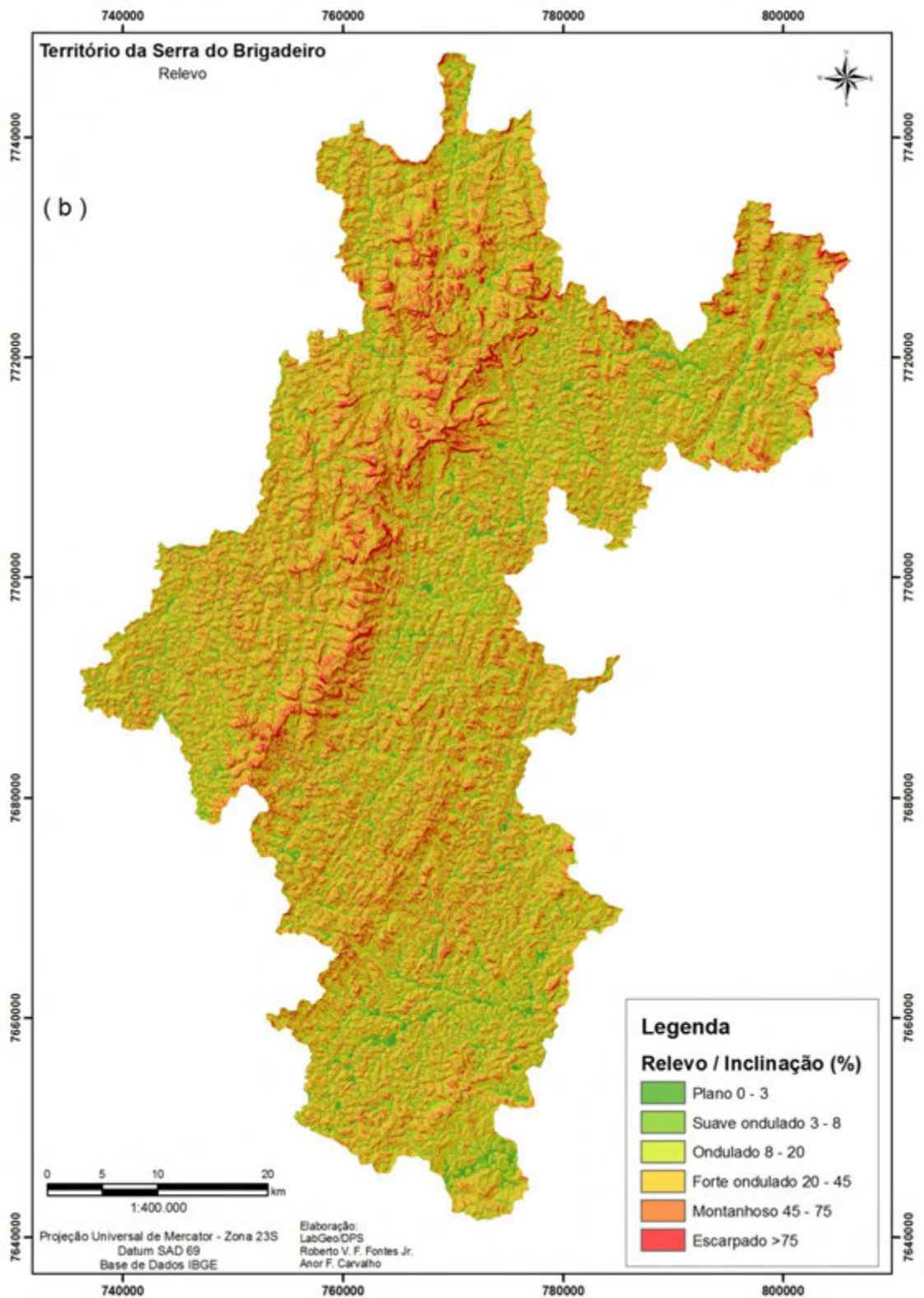


Figura 2.1.2. (continuação)

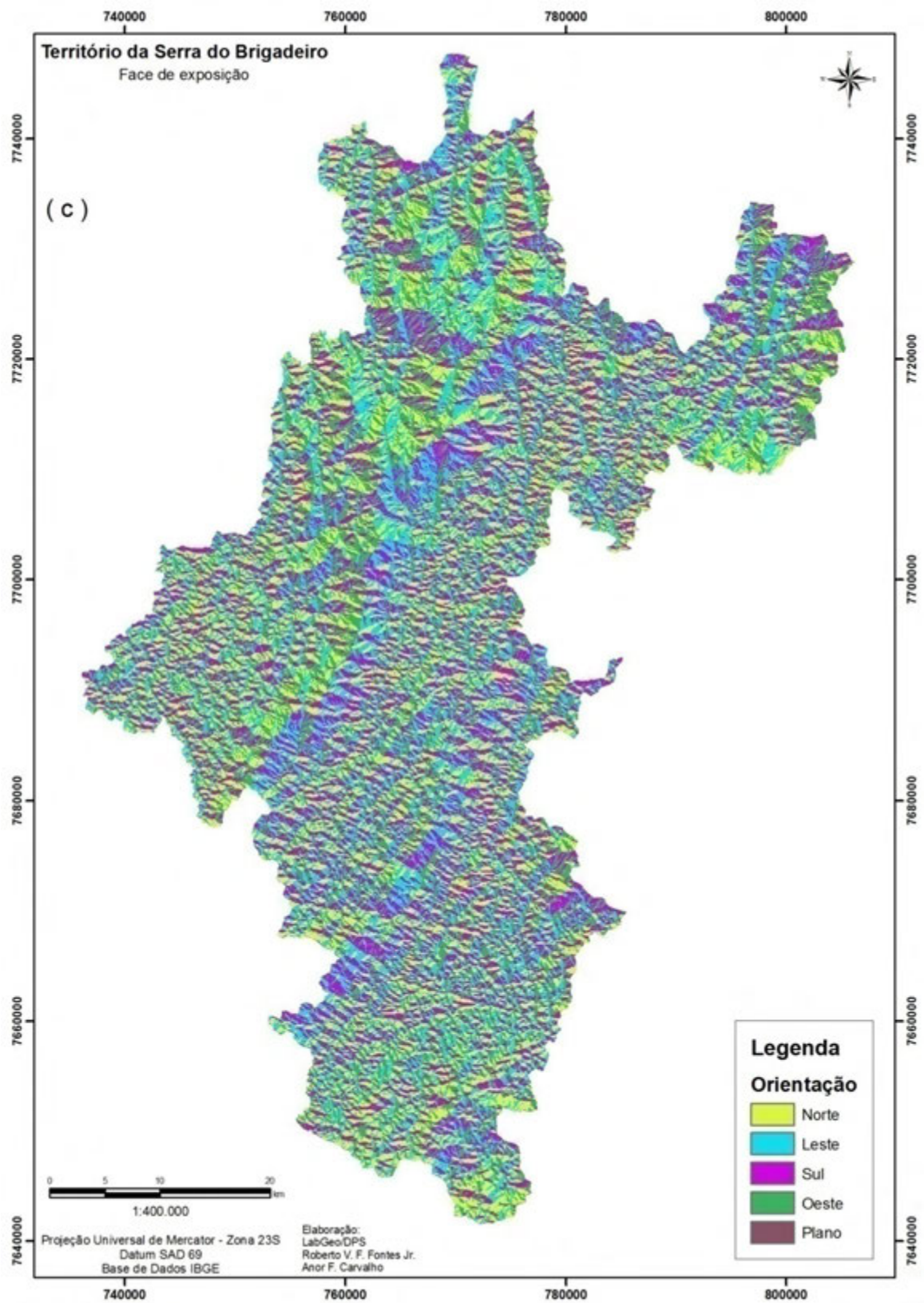


Figura 2.1.2. (continuação)

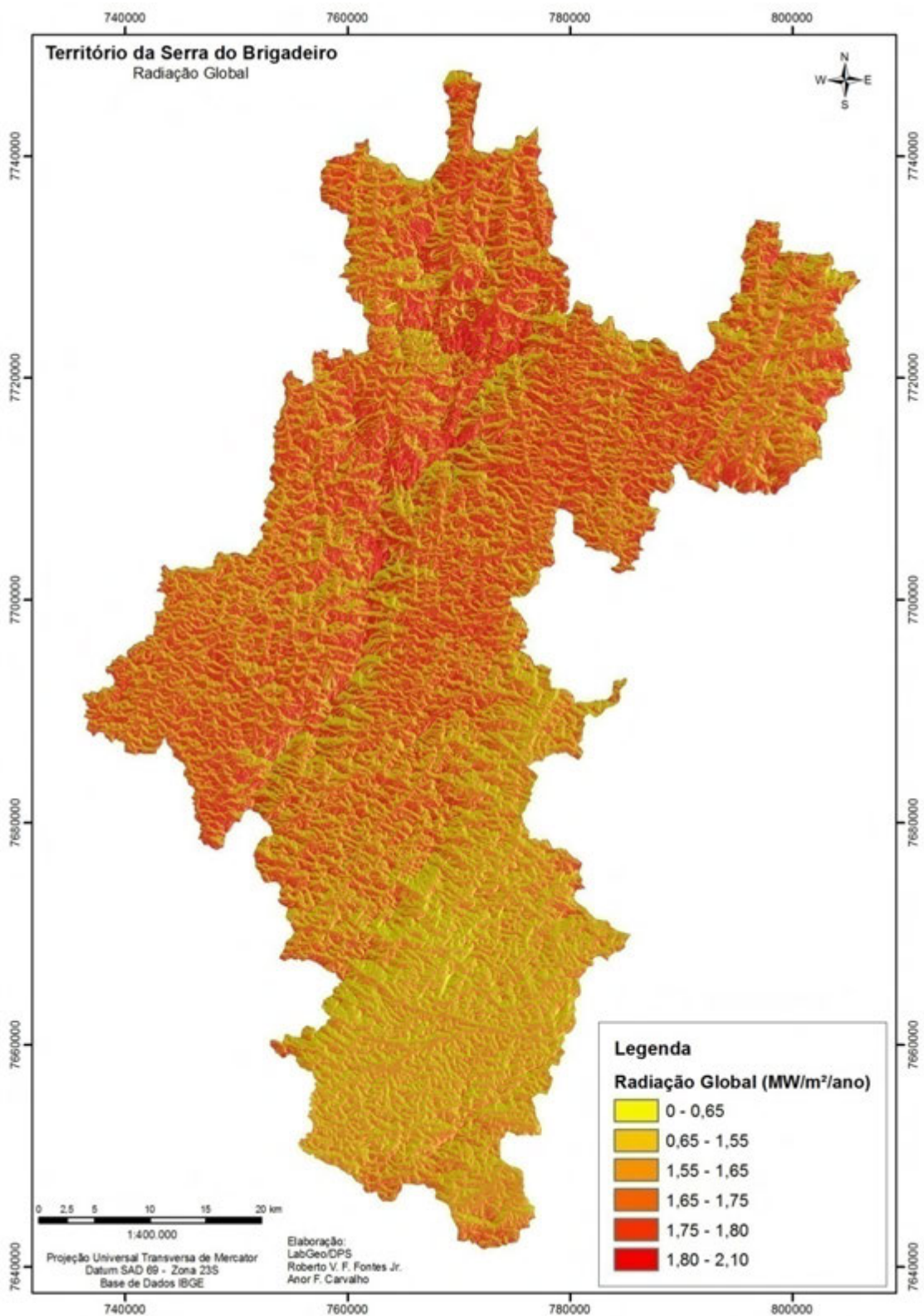


Figura 2.1.3. Distribuição da radiação global (a), direta (b), difusa (c) e nº de horas de insolação (d) no Território da Serra do Brigadeiro, a partir de modelo digital de terreno gerado com células de 20 m de lado. (continua)

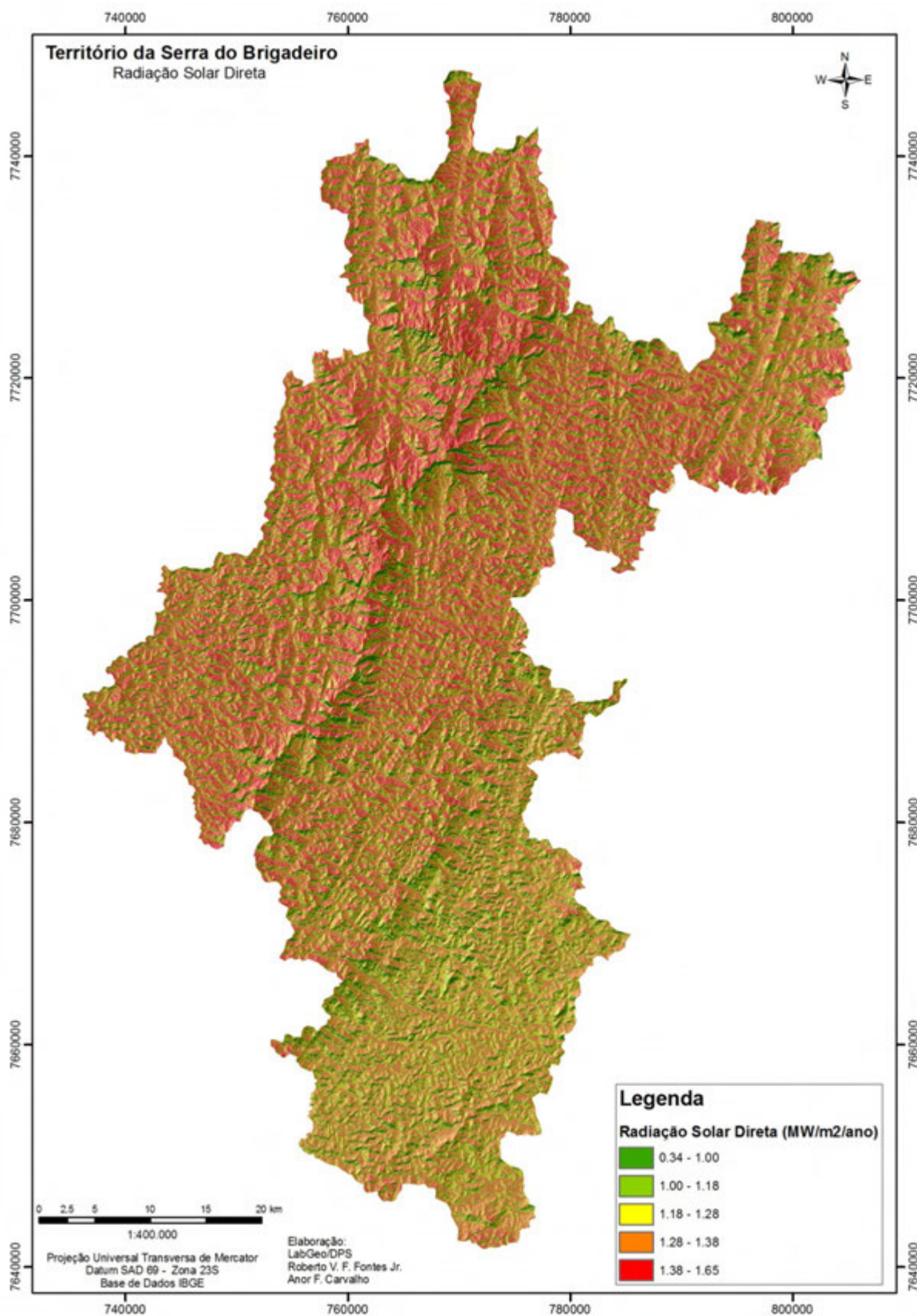


Figura 2.1.3. (continuação)

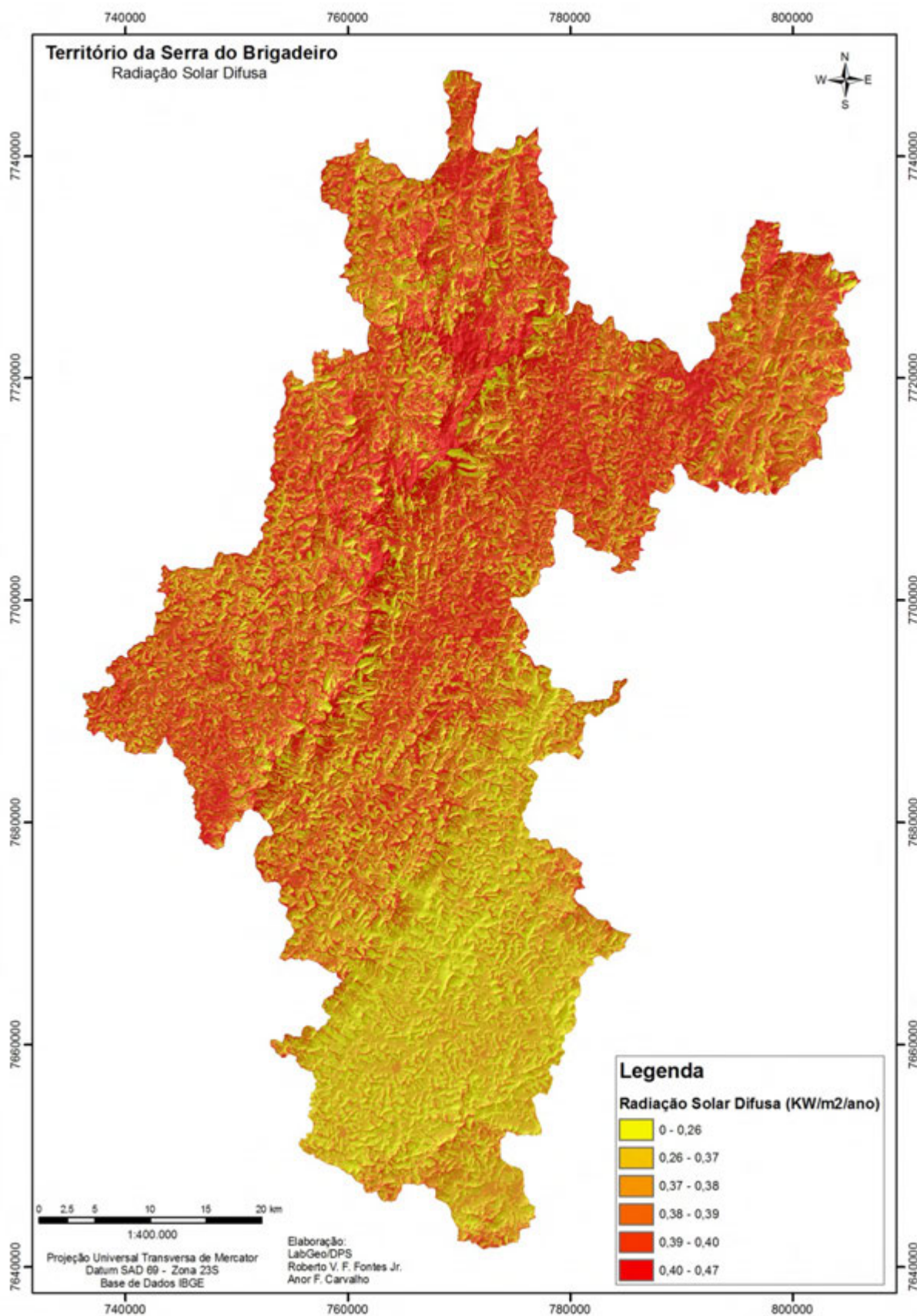


Figura 2.1.3. (continuação)

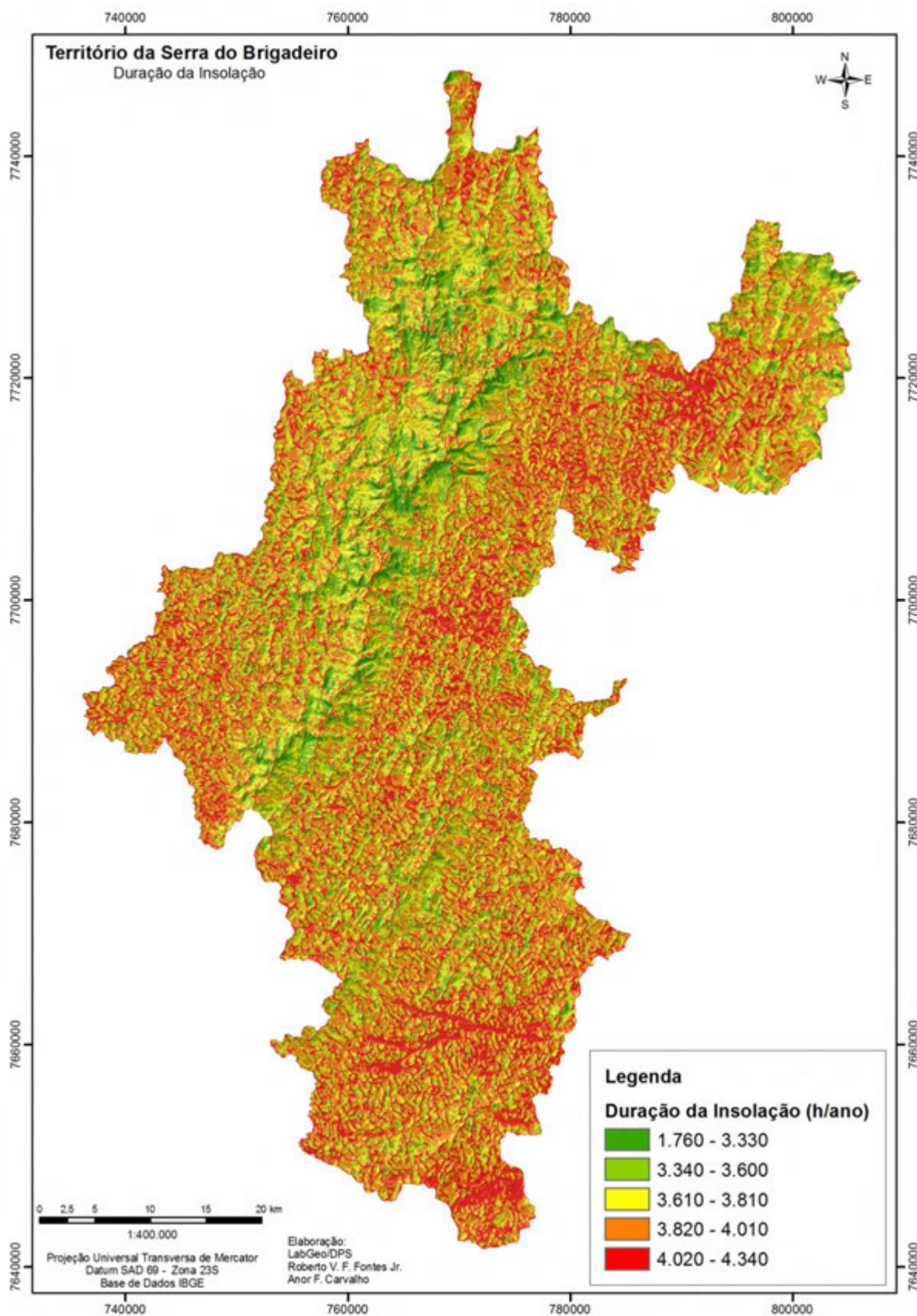


Figura 2.1.3. (continuação)

O TB apresenta uma amplitude de altitude de 1813 m (Figura 2.1.4), implicando em uma alta variação nas condições climáticas, mormente na temperatura. Assumindo um decréscimo de 0,6 °C/100 m (Sedyama, 2001), a amplitude na temperatura média entre a parte mais baixa e a mais alta no TB é da ordem de 11 °C.

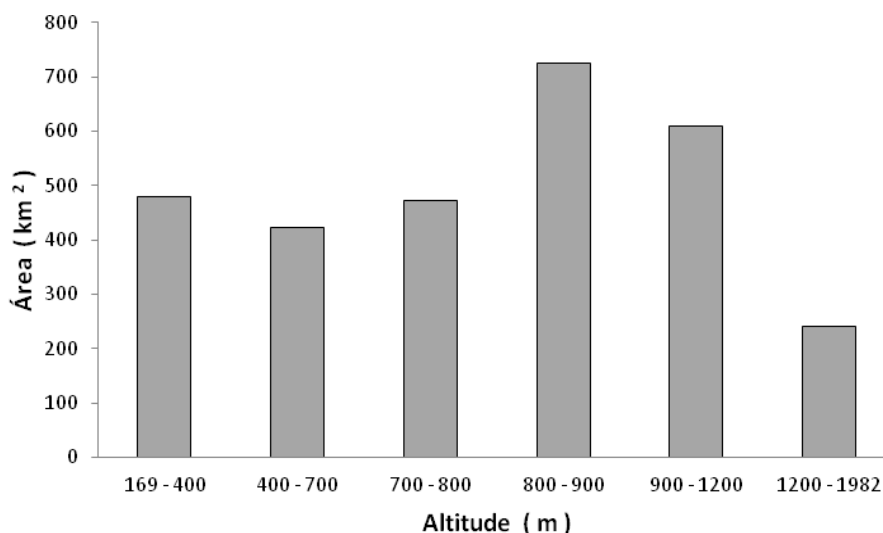


Figura 2.1.4. Área do Território da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata de Minas Gerais, por classes de altitude.

As áreas com cotas acima de 900 m (28,8 % da área total) e abaixo de 700 m (30,5 % da área total) somam 59,4 % da área total. As áreas com altitude entre 700 e 1200 m ocupam 61,3 % da área. Esse intervalo de altitude é importante, pois delimita a área com condições climáticas satisfatórias para a cultura do café arábica (Sedyama, 2001). Chama a atenção a percentagem da área com altitudes entre 800 e 1200 m (45,3 % da área total), justificando a extensão da ocupação da terra com essa cultura no TB.

A figura 2.1.5 mostra que a maior parte da área do Território da Serra do Brigadeiro está concentrada nas classes de relevo ondulado, forte ondulado e montanhoso. A face norte tem área ligeiramente maior nas classes de relevo suave ondulado, ondulado e forte ondulado. Na classe de relevo montanhoso predomina a face sul. A classe relevo forte ondulado com elevada limitação para a mecanização ocupa mais da metade da região (54,7 % da área total). As áreas com relevo plano, suave ondulado e escarpado ocupam pequena extensão. À medida que aumenta a altitude as classes de declividade maiores ocupam maior área. O relevo forte ondulado representa a metade da área ocupada (50,5 %) no intervalo de altitude entre 800 – 1000 m. Isso

reforça a importância desse nível de altitude nessa classe de relevo para uso de sistemas agrícolas com emprego de mão-de-obra intensiva, como o da agricultura familiar.

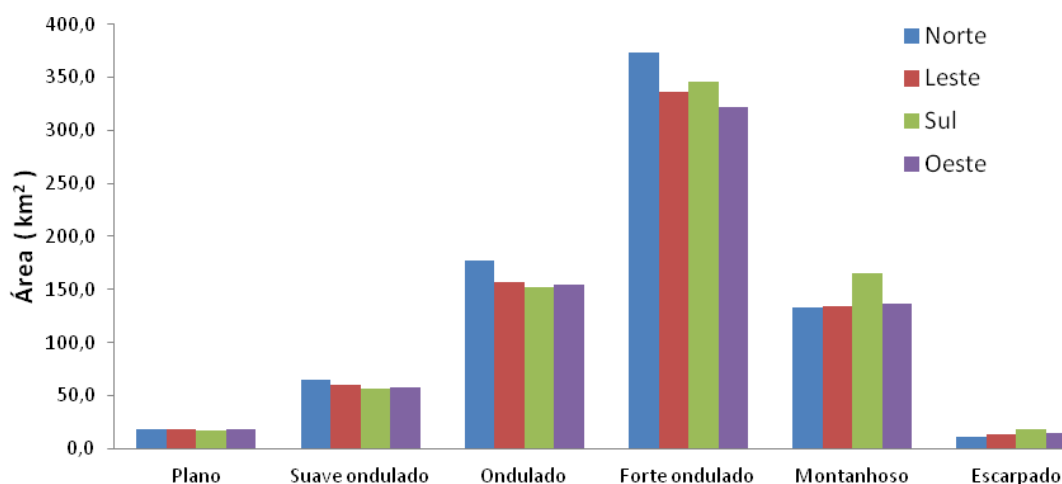


Figura 2.1.5. Área do Território da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata de Minas Gerais, de classes de relevo por faces de orientação.

Quanto à face de exposição, a distribuição é equânime entre as quatro direções cardeais (Figura 2.1.6). A face norte tem uma área ligeiramente maior do que as outras e a face oeste ligeiramente menor. Isso quer dizer que não há uma expectativa de compensação da oferta de radiação em função da área com face de exposição voltada para o sul, uma vez que a região está no hemisfério austral.

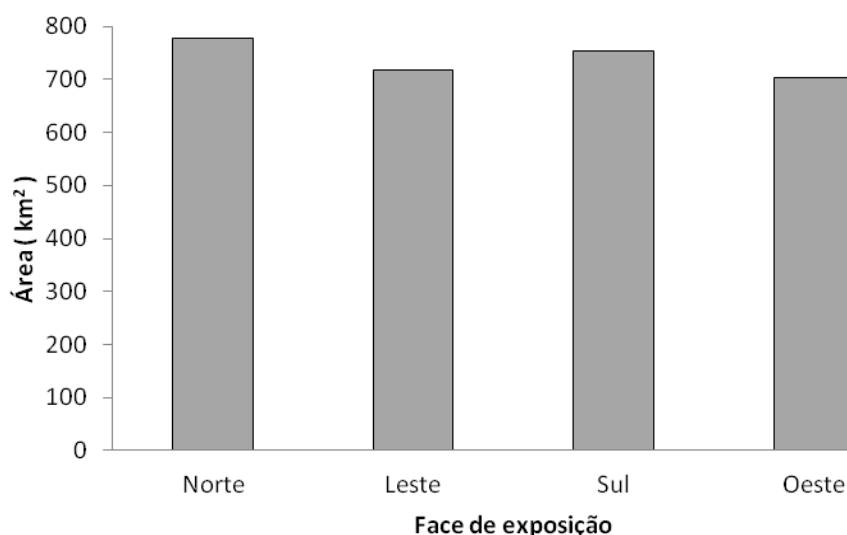


Figura 2.1.6. Área do Território da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata de Minas Gerais, por faces de exposição solar.

A distribuição das faces de exposição é homogênea para todas as classes de relevo no TB (Figura 2.1.7). Nas classes de relevo ondulado e forte ondulado a face norte tem ligeira predominância sobre as outras. Na classe de relevo forte ondulado, que possui a maior área total no TB, a exposição norte contribui para uma maior recepção de radiação (Figura 2.1.6).

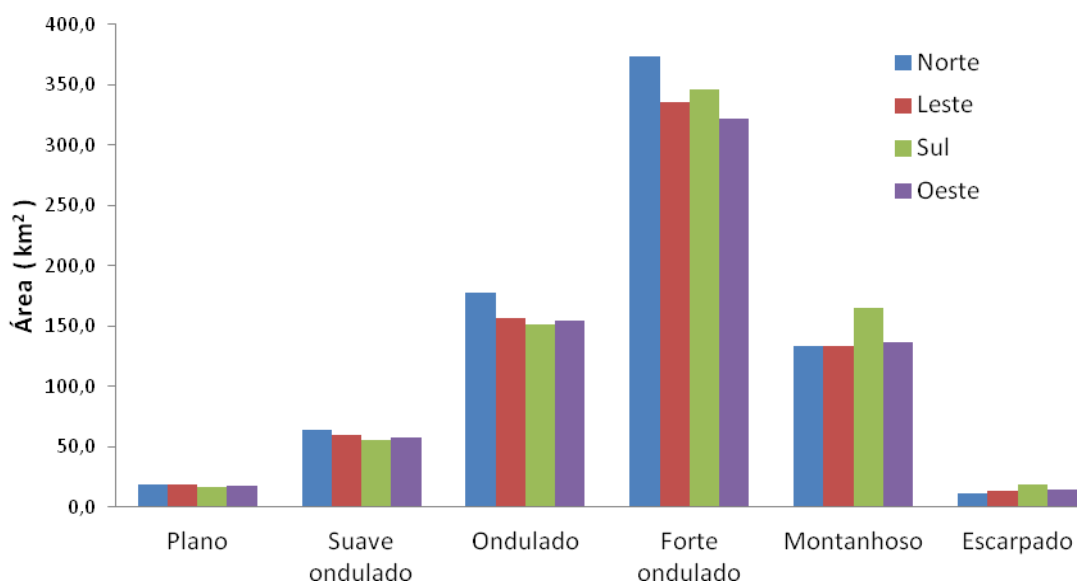


Figura 2.1.7. Área do Território da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata de Minas Gerais, com faces de exposição solar por classes de relevo.

A distribuição da oferta de radiação global por classe de face de exposição confirma a expectativa de equilíbrio entre as faces oeste e leste e o predomínio na face norte versus face sul (Figura 2.1.8).

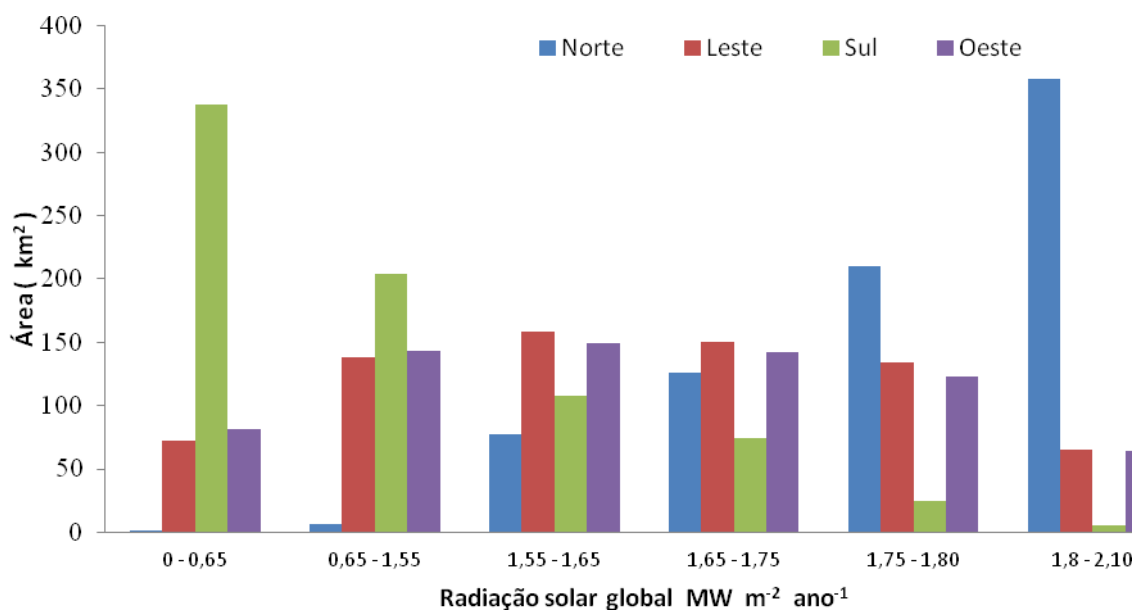


Figura 2.1.8. Área do Território da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata de Minas Gerais, com faces de exposição solar por classes de radiação solar global.

Para a distribuição de área ocupada por faces de exposição para as radiações direta e difusa ocorre uma maior contribuição da radiação direta para a face norte (Figura 2.1.9) e uma maior contribuição da radiação difusa para a face sul (Figura 2.1.10).

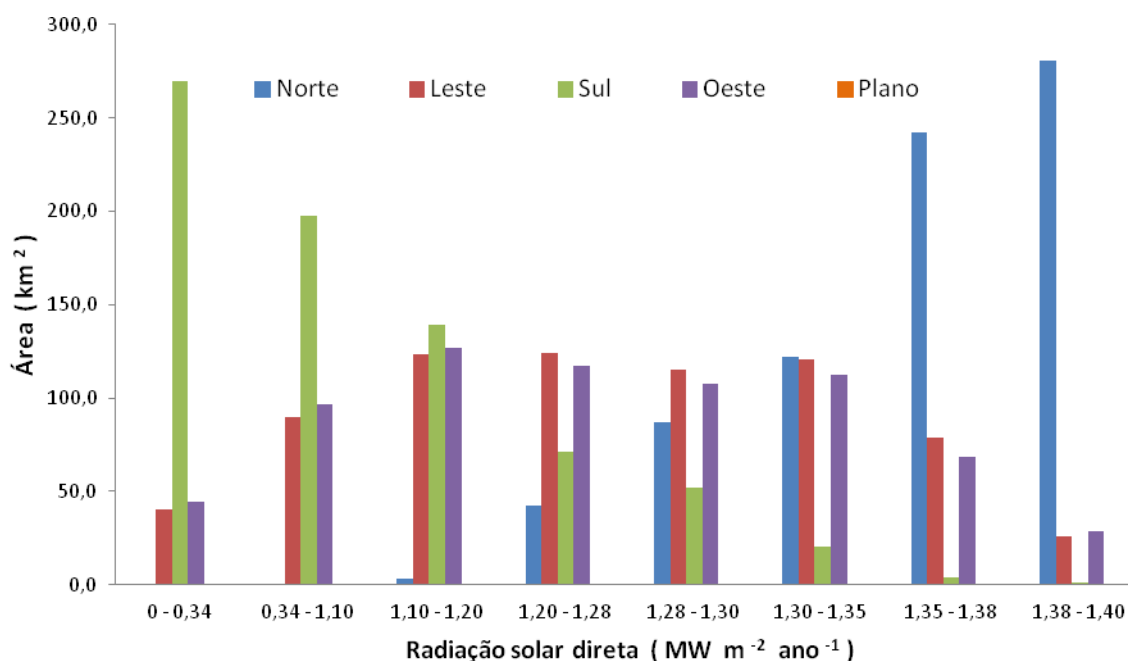


Figura 2.1.9. Área do Território da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata de Minas Gerais, com faces de exposição solar por classes de radiação solar direta.

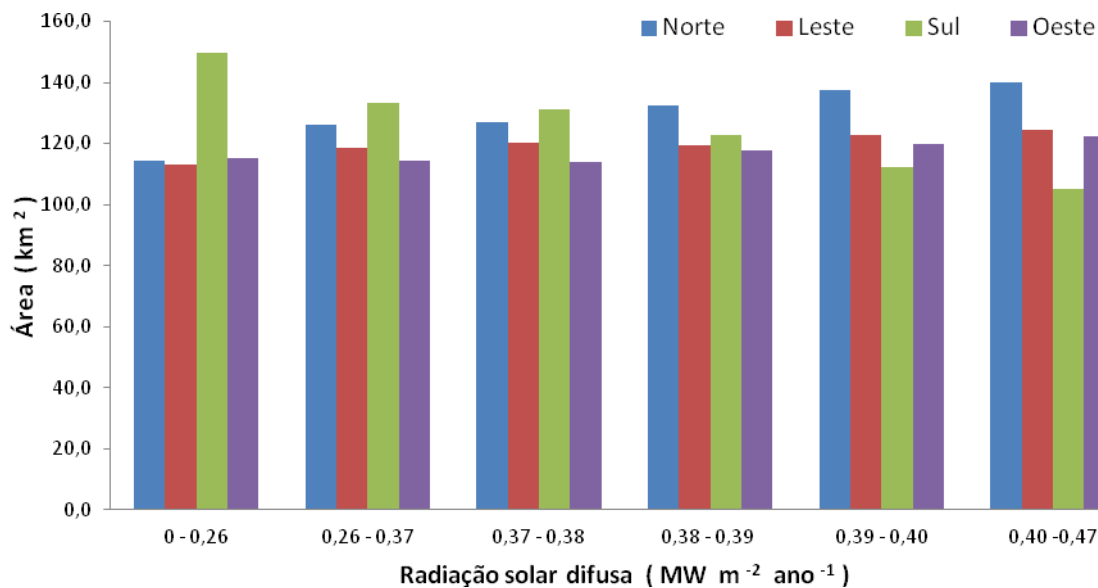


Figura 2.1.10. Área do Território da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata de Minas Gerais, com faces de exposição solar por classes de radiação solar difusa.

Quanto à duração da insolação, a área ocupada pela face norte recebe o maior número de horas anuais (Figura 2.1.11). As faces oeste e leste recebem menores quantidades de horas de luz anuais. A face sul apresenta um comportamento homogêneo para todas as faixas de duração de insolação.

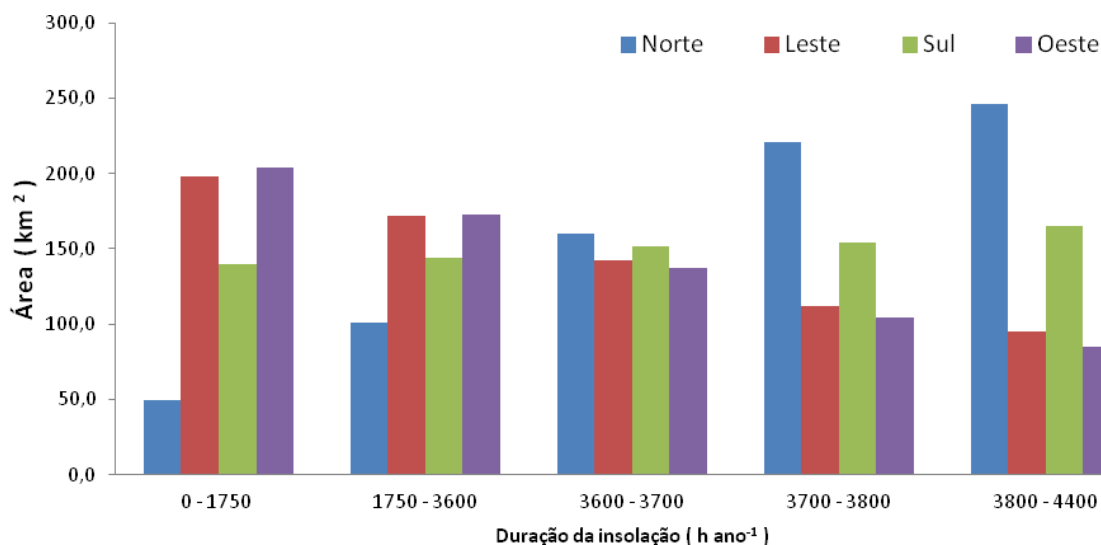


Figura 2.1.11. Área do Território da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata de Minas Gerais, com faces de exposição solar por classes de duração da insolação.

O cálculo da radiação incidente total anual por face de exposição (Figura 2.1.12) mostra que as áreas voltadas para o norte recebem 2,06 vezes mais energia do que as áreas voltadas para a face sul e em torno de 1,37 vezes mais energia do que as faces para leste e oeste.

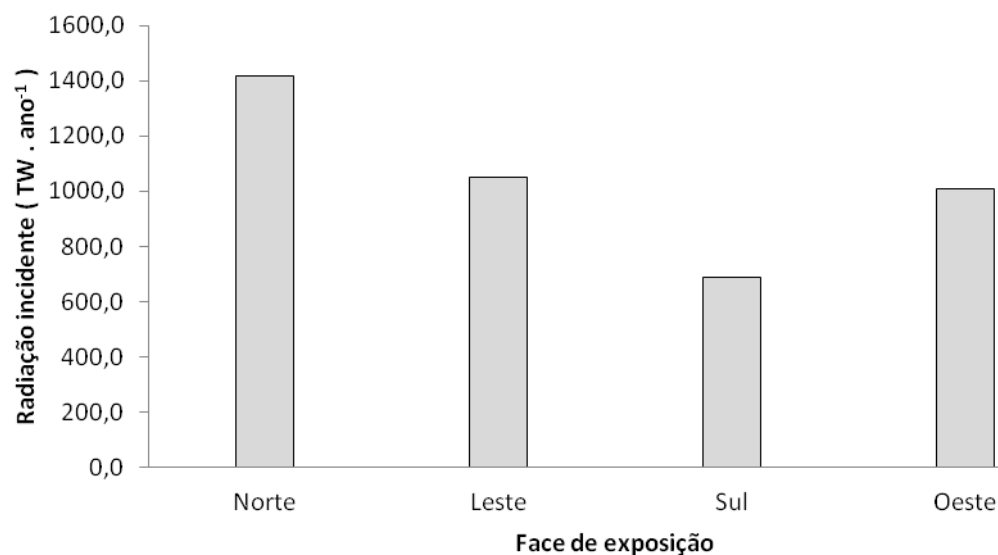


Figura 2.1.12. Radiação total por face de exposição no Território da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata de Minas Gerais.

Conclusões

A avaliação da radiação incidente no Território da Serra do Brigadeiro indica que a interação das faces de exposição e declividade determina decisivamente a quantidade e a qualidade da radiação nos sistemas de produção de regiões montanhosas. Assim é que, existem alguns estratos ambientais que, mesmo voltados para o norte, recebem pouca radiação total e maior proporção do tipo difusa. De forma inversa, algumas áreas voltadas para o sul podem apresentar comportamento similar aos típicos das áreas voltadas para o norte.

Dessa forma, por exemplo, em áreas voltadas para o sul, em topo de morro com baixa declividade, a oferta de radiação será muito próxima da face norte contígua. Num outro extremo, áreas voltadas para o norte e situadas em fundos de vales protegidos por elevações ao norte, recebem radiação total muito similar às tipicamente voltadas para o sul. O mesmo comportamento se aplica às faces oeste e leste, entretanto, com muito menor amplitude de variação.

A adoção de sistemas agroflorestais em regiões montanhosas acrescenta uma fonte de controle da oferta de radiação para a cultura de café subjacente. Nos estratos da paisagem em que a oferta de radiação é a mais baixa poderá haver déficit de energia para o pleno desempenho fisiológico da cultura do café. De maneira inversa, nos estratos em que a oferta é máxima, poderá haver atenuação da radiação e contribuição para o melhor desempenho da cultura. Por outro lado, o conhecimento sobre a oferta de radiação em regiões montanhosas assume um papel importante na questão dos serviços ambientais prestados pela agricultura. A energia que chega à atmosfera é transformada em biomassa e promove a elevação da temperatura do ar e do solo. Os sistemas agroflorestais podem aumentar a eficiência do uso da radiação ao acumularem biomassa, aumentarem a evapotranspiração e atenuarem a elevação da temperatura da atmosfera.

Essas constatações justificam conhecer a contribuição dos SAFs no controle da oferta de radiação para culturas subjacentes e na eficiência da conversão da energia em serviços ambientais em regiões montanhosas, como a do Território da Serra do Brigadeiro.

2.2 Classes de solo no município de Araponga

Introdução

A captação e armazenagem da água pelos sistemas agrícolas, dentre eles os agroflorestais, dependem diretamente de características físicas e químicas dos solos, tais como a textura, porosidade, estrutura e fertilidade, dentre outros. A experimentação participativa de SAFs desenvolvida na Zona da Mata de Minas Gerais foi bem sucedida no município de Araponga (Souza *et al.*, 2010), justificando a escolha de dois desses SAFs para estudo na escala local. A interpretação do desempenho desses SAFs depende do conhecimento dos solos ocorrentes nessa área.

Os levantamentos de solos dessa região são escassos e em escala muito pequena. O levantamento de recursos naturais do projeto RADAMBRASIL (Brasil, 1983) elaborou um mapa na escala 1: 1.000.000, em que consta a predominância de LATOSSOLOS, CAMBISSOLOS e afloramentos rochosos na área do Território da Serra do Brigadeiro. Essas classes de solo são citadas por Schaefer *et al.* (2006) em relatório de levantamento do meio físico do plano de manejo do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (PESB). Apesar de esse relatório apresentar um levantamento em escala maior, não contempla a maior parte das áreas utilizadas pelos agricultores familiares envolvidos na experimentação participativa no município de Araponga. O CETEC (2008) elaborou um mapa de solos do Estado de Minas Gerais na escala de 1:600.000, entretanto, o mesmo foi realizado com base no mapa elaborado pelo projeto RADAMBRASIL (Brasil, 1983), dessa forma, não acrescenta informações significativas para a interpretação de uso e manejo.

Portanto, realizou-se o levantamento de solos na área (Figura 2.2.1) em que a experimentação com SAFs é mais intensa no município de Araponga objetivando conhecer a ocorrência e as características dos solos presentes nestas áreas,

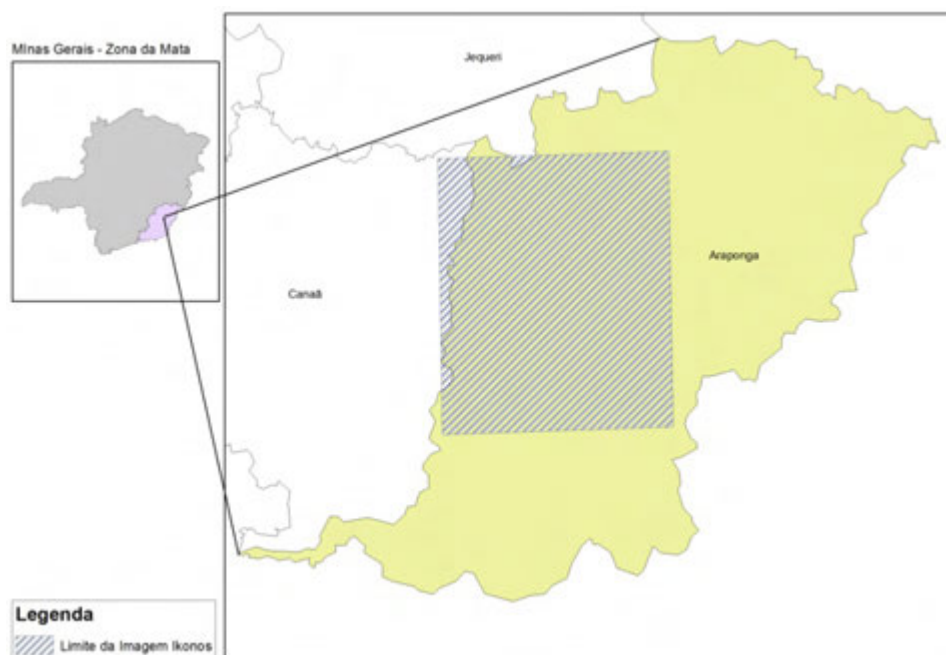


Figura 2.2.1. Localização de polígono de imagem de satélite Ikonos, com 112,36 km², colhida em 04/08/2009 no município de Araponga-MG, incluindo as áreas onde há ocorrência da utilização de sistemas agroflorestais com café.

Metodologia:

Foi delimitada uma área no município de Araponga-MG, cujo tamanho e localização foram definidos de forma a identificar a ocorrência das principais classes de solo onde a experimentação com SAFs é mais intensa. Para tal, utilizou-se uma imagem de satélite Ikonos, com 112,36 km², tendo ao centro a sede do município de Araponga e ao norte o distrito de Estevão de Araújo.

Foi realizada uma caracterização geomorfológica e geológica da área delimitada no contexto da Serra do Brigadeiro a partir de informações regionais constantes em Brasil (1983), Corrêa (1984), Schaefer (2006), Schaefer *et al.* (2006) e Benites (1997).

Foram descritos 13 perfis de solos de acordo com Lemos e Santos (1996) e coletadas amostras para análises químicas e físicas. As análises químicas foram realizadas com base nas recomendações de EMBRAPA (1997). A análise granulométrica do solo foi feita segundo EMBRAPA (1997) com sugestões propostas por Ruiz (2005a, 2005b). A argila dispersa em água, densidade do solo, densidade de partículas do solo, o grau de floculação e a condutividade hidráulica em meio saturado foram determinados conforme EMBRAPA (1997). A porosidade total foi determinada pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas do solo. A microporosidade foi obtida em

amostras indeformadas segundo EMPRAPA (1997). A macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade. A retenção de água nas tensões de -10 kPa (tomado como capacidade de campo CC) e - 1500 kPa (tomado como ponto de murcha permanente PMP) foi determinada segundo Richards (1954). A determinação de óxidos por ataque sulfúrico foi feita segundo EMBRAPA (1997) por digestão da TFSA com H₂SO₄ 1:1 (v/v) e determinação de SiO₂ no resíduo. Os teores de Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂ e MnO foram determinados no filtrado.

Foram propostas unidades de mapeamento contemplando associações e complexos de solos com base nas características observadas nos levantamentos de campo e feições identificadas em uma imagem Ikonos (resolução de 1 m, modo Pan, obtida em 04/08/2009) e georeferenciada utilizando o software Arcgis 9.2 (ESRI, 1998). Além dos perfis coletados e descritos foram considerados os solos descritos por Schaefer *et al.* (2006) e Benites (1997) para propor uma unidade de mapeamento nos afloramentos rochosos e adjacências. Os limites da ocorrência das unidades foram digitalizados utilizando o software Arc/Info (ESRI, 1994). O faseamento das unidades foi feito com base no relevo observado em campo e inferido em MDT gerado a partir de base cartográfica do IBGE na escala de 1:50.000 e curvas com 20 m de desnível.

Resultados e discussão

A área delimitada para o levantamento de solos encontra-se no contato entre as elevações da Serra do Brigadeiro, com altitude máxima de 1882 m a oeste e planaltos dissecados com altitude máxima em torno de 800 m a leste. O relevo ao centro e a leste varia de forte ondulado a escarpado. À leste varia de plano a montanhoso, predominando a classe forte-ondulado. Isso dificulta o acúmulo de sedimentos em estratos planos da paisagem. Nessas áreas a maior parte do solo transportado encontra-se em colúvios nos sopés das elevações. A oeste e no extremo norte da área ocorrem algumas elevações onduladas, entretanto, predomina a classe forte ondulado típica dos planaltos dissecados descritos por Schaefer (2006). Os vales planos de leitos maiores e terraços fluviais ocupam área pequena e concentrada nessa parte oeste do polígono (Corrêa, 1984). Brasil (1983) registra que toda a área levantada está assentada sobre rochas do arqueano pertencentes ao Complexo Juiz de Fora. Dentre as rochas desse complexo, Schaefer *et al.* (2006) enfatiza que os migmatitos e charnoquitos predominam no eixo central da Serra do Brigadeiro.

Os solos que ocorrem na ampla maioria da área são LATOSSOLOS profundos e intemperizados. Esses solos dominam até mesmo as elevações com relevo forte ondulado e montanhoso. Nessas elevações os LATOSSOLOS transicionam de forma complexa para CAMBISSOLOS latossólicos. Esses CAMBISSOLOS se expressam em extensões identificáveis na paisagem em relevo côncavo no planalto dissecado e em encostas muito íngremes das elevações da Serra do Brigadeiro. Em ambos os casos, esses CAMBISSOLOS surgem da remoção mais intensa de sedimentos da parte superior do manto de intemperismo e exposição dos horizontes inferiores dos LATOSSOLOS. Essa movimentação ocorreu em toda a área em declives acentuados e determinou o enterramento dos solos nas porções médio e inferior das elevações. Por isso, essa região pode ser considerada um domínio de LATOSSOLOS com horizontes de solos pretéritos enterrados. Os afloramentos rochosos são frequentes na parte centro-leste da área e expõem rochas mais resistentes ao intemperismo, remanescentes de processos de fraturamento e soerguimento que ocorreram nos ciclos de ativação tectônica característicos da região sudeste brasileira (BRASIL, 1983). Nas adjacências dos afloramentos ocorrem NEOSSOLOS e CAMBISSOLOS rasos. Os GLEISSOLOS ocupam os leitos maiores mais frequentes na parte leste da área e em alguns enclaves do relevo movimentado da parte oeste. Os CAMBISSOLOS típicos ocorrem associados aos terraços fluviais da parte leste e norte da área levantada. Vale ressaltar que não foram observados ARGISSOLOS nos terraços, ao contrário do que ocorre no planalto dissecado que se estende a oeste da área levantada. Inicialmente foram realizadas viagens de campo, percorrendo dois transectos na área e elaborada uma legenda preliminar.

O Quadro 1 apresenta as unidades de mapeamento de solos e a Figura 2.2.2 apresenta o mapa exploratório de alta intensidade de solos de polígono de 112,36 km² no município de Araponga – MG. Estas unidades de mapeamento foram propostas com base na descrição morfológica que, junto com os pontos de georeferenciamento dos 13 perfis de solo encontram-se no Quadro 2; os resultados analíticos químicos (Quadro 3), físicos (Quadro 4) e de ataque sulfúrico (Quadro5).

As seis unidades de mapeamento apresentadas no Quadro1 e na Figura 2.2.2 são descritas a seguir:

Unidades AR e LVA1

Os núcleos das rochas predominantes na região (migmatitos e charnoquitos) afloram em pontões e escarpas com alinhamentos preferenciais E-W e NE-SW. A

unidade de mapeamento AR (afloramento de rochas + NEOSSOLOS LITÓLICOS, Quadro 1) isola exatamente os pontões e escarpas e confirma as direções preferenciais observadas no restante da Serra do Brigadeiro. A elevação mais expressiva dessa unidade é denominada Pedra Redonda e representa um marco geográfico na paisagem local, conferindo beleza cênica impar à cidade de Araponga. O processo intenso de remoção de sedimentos nas partes elevadas dos afloramentos deixa baixos volumes residuais de material passíveis de pedogênese, o que condiciona o desenvolvimento de NEOSSOLOS Litólicos nessas áreas. Os sedimentos mobilizados dos topos dos afloramentos acumulam-se nos sopés das elevações e abrigam CAMBISSOLOS Háplicos.

A unidade LVA1 é uma associação de LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, ou húmico, ou cambissólico + CAMBISSOLO Distrófico latossólico. As unidades LVA1 e AR ocorrem juntas na paisagem e ocupam a parte centro leste da área. A unidade LVA1 constitui as partes mais elevadas dos planaltos dissecados que envolvem o alinhamento central da Serra do Brigadeiro, como proposto por Schaefer (2006). Essa unidade está assentada em embasamento migmatítico e gnáissico do Complexo Juiz de Fora (Brasil, 1983). Os profundos mantos de intemperismo associados a uma dissecação homogênea condicionam a elaboração de relevo com formas convexas mais aguçadas a leste que, progressivamente, suavizam para oeste. A altitude das elevações acompanha essa mudança de forma e decresce de leste para oeste. Algumas elevações foram entalhadas em segmentos retilíneos de falhas e linhas de fraqueza. O grande volume de sedimentos mobilizados dessas elevações com solos profundos estaciona provisoriamente no fundo de vales, proporcionando estratos de relevo favoráveis ao uso agrícola com culturas anuais de subsistência. Entretanto, são faixas muito estreitas e não mapeáveis na escala desse levantamento (Schaefer, 2006).

Os solos que ocorrem na unidade LVA1 são essencialmente LATOSSOLOS ou estreitamente relacionados a esses, nesse caso os CAMBISSOLOS intermediários (latossólicos). O clima pretérito mais úmido do que o atual condicionou o profundo intemperismo das rochas e o predomínio dos LATOSSOLOS nessa área (Corrêa, 1984). A sequência de climas secos e úmidos subsequentes retrabalhou as massas latossólicas ao longo das encostas, gerando rampas de colúvio e colmatando vales. Esse processo determina o surgimento de solos com características muito similares em uma mesma paisagem. Em algumas situações a morfogênese pode ser mais intensa do que pedogênese, como as relatadas para a América do Sul (Ab´Saber, 1977; Resende *et al.*,

1995; Albuquerque Filho *et al.*, 2008). Na unidade LVA1 todos os solos descritos (perfis 1,2,3,4,5 e 6) apresentaram pelo menos um horizonte profundo mais escuro que os contíguos sobrejacentes, identificados pelo sufixo “e” no horizonte B.

Os LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos típicos (perfis 1 e 2) e os LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos típicos (perfil 3) ocorrem em relevo forte ondulado a montanhoso, entretanto, bem expressos em feições convexas. São solos minerais muito intemperizados que se assemelham quanto aos teores de bases trocáveis e valores de ki e teor de ferro pelo ataque sulfúrico. A pequena diferença de cor determina identificação em classes diferentes.

Os LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos húmicos (perfil 4) estão associados ao terço inferior de elevações de cotas mais altas do relevo montanhoso e perfil preferencialmente retilíneo-convexo. Entretanto, a sua distribuição não é tão extensa na área como indica o levantamento feito pelo projeto RadamBrasil (Brasil, 1983). O uso agrícola intensivo dessas áreas com pastagens, culturas de café e arroz de sequeiro promoveu intensa redução da espessura dos horizontes superficiais e teor de matéria orgânica. Uma vez que a espessura do horizonte A influencia decisivamente no cálculo do teor de carbono para qualificação de horizonte A húmico, a sua ocorrência está controlada na atualidade pela presença de vegetação florestal.

Os perfis 5 e 6 apresentam horizontes enterrados sugeridos pela modificação da cor na descrição morfológica e confirmado pela elevação do teor de COT nos horizontes sub-superficiais. No caso do perfil 6 a denominação dos horizontes “C” atendeu a precedência da presença de fragmentos de rocha no perfil, entretanto, o elevado teor de COT em dois horizontes subsequentes sugere intenso retrabalhamento dos solos no relevo, com incorporação de horizontes ricos em matéria orgânica. Os teores de P e K disponíveis nos horizontes enterrados dos perfis 5 e 6 reforçam a possibilidade de intensa mobilização de sedimentos na gênese desses horizontes. Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} do perfil 5 são mais elevados nesses horizontes do que nos sobrejacentes. Fora da unidade LVA1, apenas o perfil 7 apresenta fenômeno similar, com elevação do teor de COT em três horizontes e escurecimento de um horizonte, todos subsuperficiais.

Tomando em conta a ocorrência de horizontes enterrados nos solos descritos, entendemos que na unidade LVA1, mais do que uma exceção, a presença de horizontes enterrados ricos em matéria orgânica e com níveis de fertilidade não raro maior do que nos horizontes superficiais, é um padrão. Esse fato é relevante para o uso e manejo, principalmente para sistemas agroflorestais que contam com espécies arbóreas, cujas

raízes podem explorar profundidades maiores do que as das plantas anuais ou mesmo perenes, como o café. As raízes mais profundas podem absorver os nutrientes dos horizontes mais profundos, trazê-los à superfície e enriquecer os sistemas de produção. Outro aspecto importante advindo da morfogênese é a distribuição dos solos na paisagem. Uma vez que a variação da declividade é grande e governa a mobilidade dos sedimentos, a transição entre solos distintos ocorre ao longo de toda a paisagem. Os limites entre as classes não são nítidos. Dessa forma, esta unidade possui complexos de solos.

O LATOSSOLO VERMELHO Distrófico cambissólico (perfil 5) e o CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico (perfil 6) expressam bem a questão dos complexos de solos nessa unidade de mapeamento. São solos afins cuja gênese depende diretamente do relevo. As feições côncavas do relevo surgem a partir da inserção de linhas de entalhamento que mobilizam grandes volumes de sedimentos. Os sedimentos são removidos a partir do topo das elevações, distribuem-se ao longo dos terços médio e inferior em colúvios, cuja espessura aumenta progressivamente até se debruçarem no assoalho das formas côncavas que se seguem. Dessa maneira, durante os períodos mais dinâmicos da modelagem do relevo, os LATOSSOLOS dominantes nos topos fornecem a matriz para o desenvolvimento de solos nas bases das elevações. Do ponto de vista morfogênético esses solos das bases são mais jovens. Portanto, os solos que ocupam as partes inferiores das elevações côncavas da unidade de mapeamento LVA1 intergradam desde LATOSSOLOS cambissólicos até CAMBISSOLOS latossólicos.

Unidade LVA2:

As rochas do embasamento da unidade de mapeamento LVA2 (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico ou Ácrico, Quadro 1) pertencem ao Grupo Juiz de Fora, o mesmo das unidades LVA1 e AR. Entretanto, não ocorrem os pontões constituídos de charnoquitos presentes na unidade LVA1 e AR. Na unidade LVA2 predominam as rochas migmatizadas. O tipo predominante de rocha e a posição de interface entre a Serra do Brigadeiro a sudeste e os planaltos dissecados em gnaisses do grupo Piedade a oeste, contribuiu para o desenvolvimento de um relevo com formas mais suaves do que as da unidade LVA1. As elevações expressam formas convexo-convexas em circunferências com grande raio. Essas formas mais estáveis de relevo favorecem o desenvolvimento de solos profundos em que a pedogênese é determinante. Os solos descritos nessa unidade são LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS

Distróficos típicos (perfil 8) e LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Ácricos típicos (perfil 9), todos argilosos nas fases de relevo ondulado a forte ondulado. Ambos possuem relação silte/argila e índice ki muito baixos. A pobreza em nutrientes é elevada. O uso agrícola com pastagens extensivas e degradadas predominantes nessa unidade indica essa condição. O perfil 9 satisfaz a condição de caráter ácrico, ou seja, pH em KCI maior do que em H₂O no horizonte B. Não foi identificado nenhum critério de separação, por isso, a unidade foi constituída de um complexo entre esses solos.

Unidade LV:

A unidade LV ocupa a faixa leste da área e abriga predominantemente os LATOSSOLOS VERMELHOS (perfis 7 e 10). Esta unidade pertence, geomorfologicamente, aos planaltos dissecados a oeste da Serra do Brigadeiro, descritos por Schaefer (2006). Quanto ao embasamento, a escala dos levantamentos disponíveis dificulta afirmar com segurança a natureza das rochas que originam os solos. Brasil (1983) registra que o Gnaisse Piedade cavalga sobre o Grupo Juiz de Fora em falha inversa próximo ao Município de Araponga. A unidade de mapeamento LV tem alinhamento e posição que sugerem ocupar justamente esta faixa de transição entre o Grupo Juiz de Fora e o Gnaisse Piedade. Por um lado, as rochas do Gnaisse Piedade tornam-se progressivamente mais básicas no sentido leste até limitar com o Grupo Juiz de Fora. Por outro lado, a porção noroeste do Grupo Juiz de Fora é composto por rochas migmáticas originadas de migmatitos básicos, cuja mineralogia inclui biotitas, anfibólios e piroxênios, conferindo caráter melanocrático aos gnaisses migmatizados. Portanto, independente da contribuição exclusiva ou do compartilhamento dos produtos de intemperismo dos embasamentos do Gnaisse Piedade ou do Grupo Juiz de Fora, os solos vermelhos dessa unidade estão localizados em área que abriga rochas com composição relativamente rica em ferro. Entretanto, os teores de Fe₂O₃ do ataque sulfúrico dos LATOSSOLOS VERMELHOS dessa unidade de mapeamento (Quadro 2.2.4: perfis 7 e 10), não os diferenciam dos LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS. Portanto, as cores mais vermelhas dos LATOSSOLOS VERMELHOS dessa área não estão diretamente associadas aos teores de ferro, sugerindo estudos de gênese que expliquem o desenvolvimento expressivo dessa cor nessa região.

O mapa de solos do projeto RadamBrasil (Brasil, 1983) apresenta LATOSSOLOS VERMELHOS¹ ocorrendo sobre a área da unidade de mapeamento LV. A área mapeada parece um pouco maior do que a observada no campo. Entretanto, devido à escala do mapeamento (1: 1.000.000) isso é perfeitamente aceitável. O perfil de solo descrito por Brasil (1983) está situado na borda oeste da unidade LV e consta de um LATOSSOLOS VERMELHOS Ácrico típico, o que confirma a área de ocorrência dessa classe de solos.

Brasil (1983) não inclui outras classes de solo nessa unidade de mapeamento. Entretanto, registramos a ocorrência de LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS e CAMBISSOLOS HÁPLICOS associados aos LATOSSOLOS VERMELHOS. Os LATOSSOLOS VERMELHOS ocorrem em duas classes: LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos típicos (perfil 7) e LATOSSOLOS VERMELHOS Ácricos típicos (perfil 10). Os LVd típicos ocorrem em posições de terço médio e inferior de elevações convexas. Os LVw típicos ocorrem nos topos e terços superiores de elevações convexas. Apesar de a fertilidade ser comparável à dos LVAd típicos e ácricos ocorrentes na unidade de mapeamento LVA2, o uso intensivo com cultura de café parece denotar a aptidão agrícola desses solos. Os LVAd típicos (perfil 8) foram observados em terço médio e inferior de elevações convexas mais suaves do que as que abrigam os LVs. Os CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos latossólicos (perfil 11) ocupam encostas íngremes de elevações convexas. Esses CAMBISSOLOS se desenvolvem a partir de horizontes subsuperficiais de LATOSSOLOS expostos pela remoção intensa dos horizontes superficiais.

Unidades CX e GX:

A unidade CX abrange os terraços fluviais cobertos por CAMBISSOLOS e a unidade GX os leitos maiores contíguos, ocupados com GLEISSOLOS. A maior parte da área coberta com as unidades CX e GX representa a ocorrência de solos desenvolvidos em sedimentos depositados nos fundos dos vales nas cotas mais baixas, ao longo dos principais cursos d'água que cortam a área, o Ribeirão São Félix e o Córrego São Joaquim. Algumas áreas significativas da unidade GX são encontradas em enclaves do relevo imersas na unidade de mapeamento LVA1, entretanto, não são acompanhadas pela unidade CX, como nos vales mais baixos.

¹A classe apresentada em Brasil (1983) é a dos LATOSSOLOS VERMELHO-ESCUROS, cuja correlação no sistema de classificação adotada nesse texto (EMBRAPA-CNPS, 2006) é a dos LATOSSOLOS VERMELHOS.

Duas condições de relevo controlam a deposição de sedimentos nos vales mais baixos, uma a leste e outra a oeste. A leste, as elevações relacionadas à Serra do Brigadeiro apresentam grande aprofundamento dos talwegues e entalhamento retilíneo, determinando poucas oportunidades de acúmulo de sedimentos. A oeste, a parte oriental do Planalto dos Campos das Vertentes apresenta extensas áreas com dissecação homogênea, referidas como “mares de morros”, com altitudes que variam entre 600 e 800 m (BRASIL,1983). A maior área das unidades CX e GX estão exatamente no contato entre esses dois modelados e representam o primeiro momento em que os sedimentos incontidos das elevações se deparam com um nível de base provisório interposto pelo extenso planalto. Isso indica que essas unidades de mapeamento estão exatamente na frente de expansão dos planaltos dissecados e, portanto, são vales jovens que recebem sedimentos a menos tempo do que os vales a oeste. Os desníveis entre os terraços e leitos maiores nessa área são menores do que os observados no planalto dos “mares de morros”. Esse fato reforça a proposição do preenchimento mais recente dos vales da área de estudo. É importante comparar a idade relativa da deposição dos sedimentos desses vales para compreender a ausência de ARGISSOLOS nos terraços fluviais da unidade CX. Os terraços fluviais são ocupados por CAMBISSOLOS na unidade de mapeamento CX e por ARGISSOLOS nos planaltos dissecados a oeste (Corrêa, 1984, Schaefer,1998).

A unidade CX demarca a ocupação na área em estudo por CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos típicos (perfil 12). Esses solos estão distribuídos nos terraços fluviais não inundáveis. Eles diferem dos CAMBISSOLOS que ocorrem nas elevações em outras unidades de mapeamento da área em estudo, pois possuem estrutura em blocos subangulares que dificulta o crescimento de raízes de plantas que dependem de ocupar grandes volumes de solo ao longo do ano. Assim é que, são utilizados principalmente com culturas anuais e pastagens. As tentativas de implantação de cultura de café nesses solos são mal sucedidas. O perfil amostrado tem baixos teores de bases trocáveis, potássio e fósforo. As culturas anuais são plantadas com o uso de adubação mineral. Parte desses solos está em área considerada de preservação permanente pela legislação ambiental e merecem as mesmas considerações quanto à normatização ambiental que os GLEISSOLOS.

A unidade GX delimita a ocupação na área em estudo por GLEISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos típicos (perfil 13). São solos desenvolvidos às margens dos cursos d água em relevo plano que permanecem saturados com água durante a maior

parte do ano. São solos com elevado teor de COT e nível de fertilidade melhor do que os das elevações. O seu uso é limitado em função da estrutura maciça, que dificulta sobremaneira as práticas agrícolas e da susceptibilidade às inundações periódicas a que esses vales são submetidos.

Os solos da unidade GX solos foram muito utilizados na Zona da Mata Mineira para a produção de arroz e, atualmente, foram abandonados. Além disso, a legislação ambiental impõe restrições ao seu uso (Deboni, 2003; Ribeiro *et al.*, 2005). A maior parte dessas áreas é considerada área de preservação permanente. O principal uso desses solos na área em estudo é o represamento dos cursos d'água para a formação de tanques para a piscicultura e fornecimento de água para animais. A área mapeada com corpos d'água na área de estudo é 4,85 ha. Esses corpos d'água estão todos situados na unidade GX. Entretanto, em função da geração de recursos para a manutenção da atividade agrícola na área em estudo, é necessário considerar formas de uso aceitáveis na normatização ambiental.

Quadro 1. Unidades de mapeamento de solos de polígono de 112,36 km² no município de Araçuaia – MG.

Unidade de mapeamento	Perfis	Área (ha)	%
AR -Afloramento de rochas em topos e escarpas de falhas sobre migmatitos e charnoquitos, com tálus de sopés + NEOSSOLOS LITÓLICOS Húmicos típicos fase relevo montanhoso	*	222,28	1,98
LVA1 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, ambos argilosos e fase relevo forte ondulado e montanhoso+ LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico fase relevo montanhoso + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico cambissólico -CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico ambos argilosos fase relevo ondulado a forte ondulado	1, 2,3,4,5 e 6	2566,21	22,84
LVA2 -LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico típico todos argilosos fase relevo ondulado a forte ondulado	8 e 9	2671,11	23,77
LV - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico + LATOSSOLO VERMELHO ácido típico + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico ambos argilosos e fase relevo forte ondulado + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico fase relevo montanhoso	7, 8, 10 e 11	5633,40	50,14
CX - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico fase terraço fluvial	12	72,76	0,65
GX -GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico fase relevo plano	13	66,00	0,59

Os perfis adotados para representar a unidade AR foram descritos por Benites (1997) e Schaefer (2006).

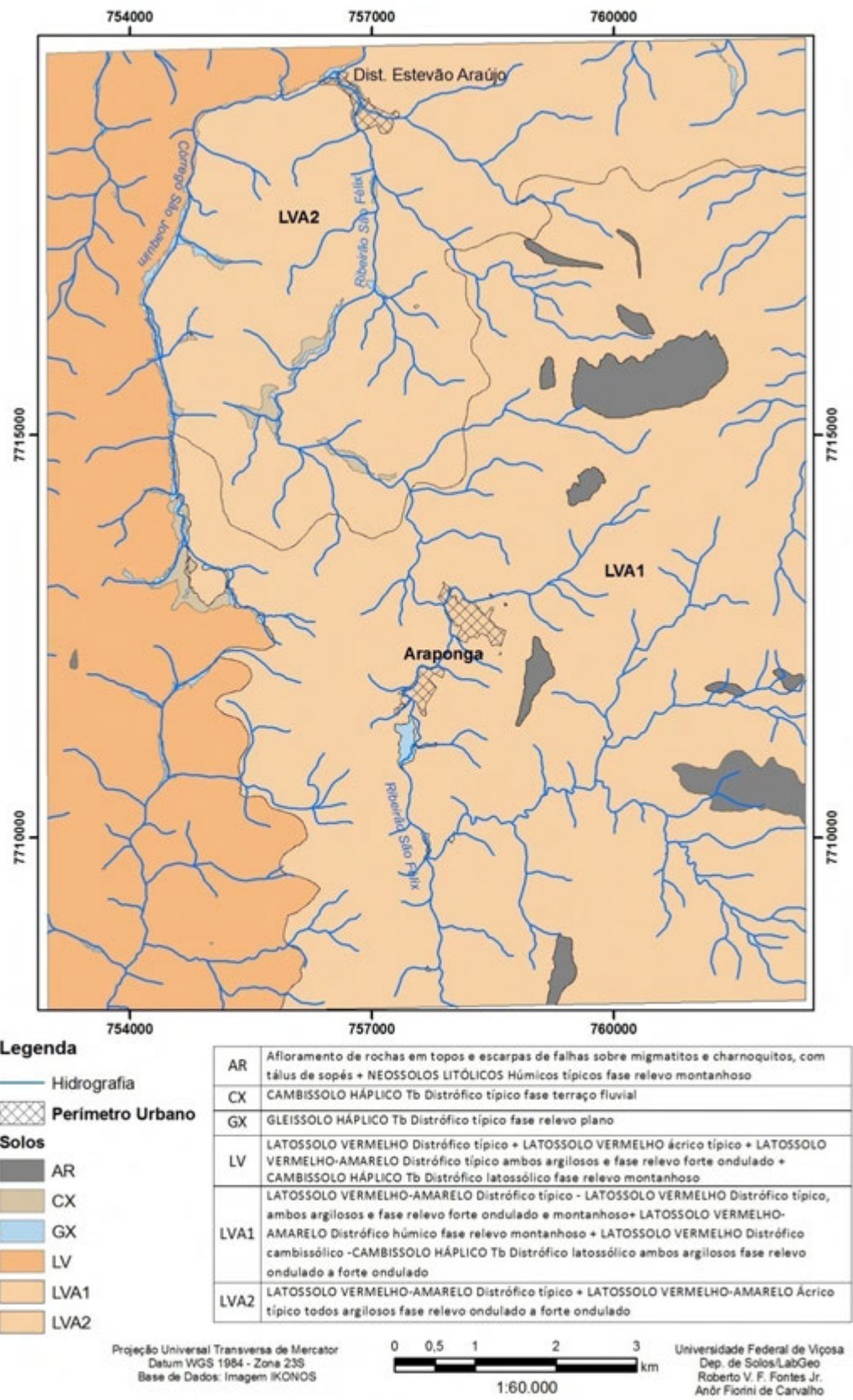


Figura 2.2.2. Mapa exploratório de alta intensidade de solos em polígono com 112,36 km² no município de Araponga – MG.

Quadro 2. Atributos morfológicos e georeferenciamento dos perfis de solo descritos em polígono de 112,36 km² no município de Araponga – MG

Hor. ⁽¹⁾	Prof. ⁽²⁾ (cm)	Cor úmida (matriz)	Estrutura ⁽³⁾	Classe textural
Perfil ⁽⁴⁾ 1- LVAd (típico) – ⁽⁵⁾ 23S 754.504,147,7712.457,681				
A1p	0-10	5YR 3/3	mo., pq. e me., gr.	argilo-arenosa
A2	10-25	5YR 3/2	mo. e fo., me. e g., gr	argila
AB	25-48	5YR 4/6	mo.,pq. e me., gr.	argila
BA	48-72	5YR 4/8	mo., pq. a me., gr.	argila
Bwe1	72-110	5YR3/4	fo., mpq., gr.	argila
Bw2	110-130	7.5YR 5/6	mo. a fo., mpq. a pq., gr.	argila
C	130-200+	7.5YR 5/8	mo., mpq. a me., gr.	argila
Perfil 2- LVAd (típico) – 23S758.692,080,7708.560,526				
Ap	0-22	5 YR 3/2	fo. a mo., pq. a me., gr.	argila
AB	22-65	5 YR 3/3	mo., mpq., gr. / mpq., bsa.	argila
Bw1	65-125	5 YR 3/3	fo., mpq., gr.	argila
Bwe2	125-150+	5 YR 3/2	fo., mpq., gr.	argila
Perfil 3- LVd (típico) – 23S758.640,738,7708.759,049				
A	0-12	2,5 YR 2/2	fo., me., gr.	argila
AB	12-30	2,5 YR 3/4	mo. a fo., pq. a me., gr.	argila
Bw1	30-65	2,5 YR 3/6	fo., pq., gr.	argila
Bwe2	65-110	2,5 YR 3/4	fo., pq., gr.	argila
Bw3	110-140+	2,5 YR 3/6	fo., pq., gr.	argila
Perfil 4 -LVAd (húmico) – 23S757.248,691,7709.133,421				
A	0-20	5 YR 3/4	fo., me., gr.	argila
AB	20-45	5 YR 4/6	fo., pq., gr.	argila
Bw1	45-90	5YR 4/6	fo., mpq., gr.	argila
Bw2e	90-130	5 YR 3/3	fo., pq., gr.	argila
Bw3	130-160	5 YR 4/6	fo., pq., gr.	argila
BC	160-200+	2,5 YR 4/6	fo., pq., gr.	argila
obs: presença de fragmentos de rocha no horiz. BC				
Perfil 5- LVd (cambissólico) – 23S757.380,456,7709.157,314				
Ap	0-10	5 YR 3/3	fo., me., gr.	argila
A/B	10-20	2,5 YR 4/6	mo.,me. a pq., bsa.	argila
Bw1	20-50	2,5 YR 4/6	mo.,me. a pq., bsa.	argila
Bw2	50-110	2,5 YR 3/6	mo. a fo., pq. a me., gr.	argila
Ab	110-130	5 YR 4/6	fo., me., bsa.	argilo-arenosa
ABb	130-150	5 YR 5/8	mo., me. a g., gr.	argilo-arenosa
Bib	150-170+	7,5 YR 5/8	mo. a fr., me., gr.	argila
obs: presença de até 4 % de fragmentos de rocha alterada no horiz. Bw2 e mais de 5 % no horiz. 2Bi				
Perfil 6- CXbd (latossólico) – 23S757.309,900,7709.122,297				
AP	0-15	5 YR 4/4	fo., me., gr.	argila
Bi1	15-45	2,5 YR 4/6	mo., pq. a me., bsa	franco-argilosa
Bi2	45-100	2,5 YR 4/4	mo., pq. a me., gr.	franco
Ce	100-170	10 R 4/8	fr. a mo., me., gr.	argila
CRe	170-190+	10 R 5/6	fr. pq. gr.	argila
obs: presença de alguns fragmentos de rocha alterada no horiz. 2C e 10 % no horiz. 2CR.				
Perfil 7- LVd (típico) -23S753.950,946,7714.797,059				
A1p	0-12	2.5YR 4/6	fo., mpq., gr.	muito argilosa
A2	12-27	2.5YR 4/8	fo., mpq., gr.	muito argilosa
AB	27-38	2.5YR 4/8	fo., mpq., gr.	muito argilosa
BA1	38-53	2.5YR 5/8	fo., mpq.,gr.	muito argilosa
BA2	53-58	2.5YR 6/8	fr., pq. a me., bsa.	argila
Bw1	58-80	2.5YR 5/8	mo. e fo., peq., bsa. e gr.	argila
Bwe2	80-130	2.5YR 4/8	fo., pq., gr.	muito argilosa
Bw3	130-200+	2.5YR 4/8	fo., pq. gr.	muito argilosa
Perfil 8- LVAd (típico) – 23S754.410,376,7717.122,510				
A	0-15	5YR 3/4	mo., me., gr.	muito argilosa
AB1	15-30	5YR 3/6	mo., pq. a me., gr.	muito argilosa
AB2	30-50	5YR 3/6	mo., pq. a me., gr.	muito argilosa
BA1	50-72	5YR 3/6	mo., pq., gr.	muito argilosa
BA2	72-110	5YR 3/6	mo., pq., gr.	muito argilosa
Bw	110-150+	5YR 3/6	fo., mpq., gr.	muito argilosa

continua...

Quadro 2. continuação

Hor. ⁽¹⁾	Prof. ⁽²⁾ (cm)	Cor úmida (matriz)	Estrutura ⁽³⁾	Classe textural
Perfil 9 - LV _A w (típico) – 23S 754.622,162, 7715.482,130				
A	0-20	5YR 3/4	mo, pq. a me., gr.	muito argilosa
AB	20-50	5YR 3/6	mo, pq. a me., gr.	muito argilosa
BA	50-120	5YR 3/6	fo., pq., gr.	muito argilosa
Bw	120-250	5YR 4/6	fo., mpq., gr.	muito argilosa
Perfil 10 - LV _w (típico) -23S753.873,077,7715.466,218				
A	0-30	10R 3/2	fo., pq. e me., gr.	muito argilosa
Bw1	30-65	10R 4/8	fo., pq., gr.	muito argilosa
Bw2	65-130	10R 4/8	fo., pq e me., gr.	muito argilosa
Bw3	130-180+	10R 4/5	fo., pq e me., gr.	muito argilosa
Perfil 11 - CX _{bd} (latossólico) – 23S754.504,147,7712.457,681				
A	0-8	7.5YR 4/4	mo., me., gr.	argila
AB	08-17	5YR 5/8	fr., pq. a e me., gr.	argila
BA	17-50	5YR 5/6	fr., pq. a me. gr. e bsa.	muito argilosa
Bi	50-85	5YR 5/8	fr., pq., gr.	muito argilosa
BC	85-135	2.5YR 4/8	fr., pq., gr.	argila
C	135-160	2.5YR 6/4	fr., pq., gr.	franco-argilosa
Perfil 12- CX _{bd} (típico) – 23S754.608,872,7713.233,921				
Ap	0-34	10YR 5/2	fr. a mo., pq.; gr.	argila
AB	34-53	10YR 5/4	fr., peq. a me., bsa.	argila
BA	53-70	10YR 5/8	fr., peq. a me., bsa.	argila
Bi	70-90	7.5YR 5/8	fr., mpq. a pq., bsa.	franco-argilosa
BC	90-108	5YR 6/8	fr., mpq. a peq., bsa.	franco-argilosa
C	108-125+	2.5Y 8/6 e 5YR 6/8	fr., mpq., gr.	franco-argilo-siltosa
Perfil 13- GX _{bd} (típico) – 23S754.353,129,7711.663,129				
A	0-10	2,5 YR 2,5/4	fr., me. ag., gr.	muito argilosa
AC	10-15	10YR 6/1	maciça	muito argilosa
Cg	15-60+	2,5 Y 7/0	maciça	muito argilosa
obs: mosqueado em Cg: 2,5 Y 7/6;co., me., di.				

⁽¹⁾ Hor: horizonte; ⁽²⁾ Prof.: profundidade; ⁽³⁾ fr: fraca; mo: moderada; fo:forte; mpq: muito pequena; pq: pequena; me: média; g: grande; ba: blocos angulares; bsa: blocos subangulares; gr: granular; po: pouco; co: comum; di: distinto, ⁽⁴⁾ Simbologia segundo EMBRAPA-CNPS (2006) até o 3º nível categórico e 4º nível entre parênteses; ⁽⁵⁾ Georeferenciamento em coordenadas UTM.

Quadro 3. Atributos químicos dos perfis de solo descritos em polígono de 112,36 km² no município de Araponga – MG.

Hor. ⁽¹⁾	Prof. ⁽²⁾	pH H ₂ O	pH KCl	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)	V	m	MO	COT	P-rem
	cm	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³						—%—	—dag kg ⁻¹ —	mg.L ⁻¹			
Perfil ⁽³⁾ 1- LVAd (típico)																	
A1p	0-10	6,97	6,48	64,1	76	5,31	1,96	0,0	0,8	7,46	7,46	8,26	90,3	0,0	4,75	2,76	32,3
A2	10-25	5,3	4,5	3,6	36	2,24	0,85	0,2	7,8	3,18	3,38	10,98	29,0	5,9	4,75	2,76	23,9
AB	25-48	5,3	4,45	1,6	15	1,6	0,41	0,4	6,2	2,05	2,45	8,25	24,8	16,3	2,91	1,69	21,0
BA	48-72	5,02	4,38	1,5	11	1,01	0,23	0,71	6,3	1,27	1,98	7,57	16,8	35,9	2,79	1,62	16,6
Bwe1	72-110	5,04	4,39	1,3	9	0,63	0,15	0,91	7,5	0,80	1,71	8,30	9,6	53,2	2,85	1,65	7,8
Bw2	110-130	4,83	4,36	1,3	9	0,33	0,08	0,91	5,5	0,43	1,34	5,93	7,3	67,9	1,65	0,96	11,7
C	130-200+	4,64	4,38	1,2	8	0,11	0,05	0,71	3,2	0,18	0,89	3,38	5,3	79,8	0,76	0,44	6,3
Perfil 2- LVAd (típico)																	
Ap	0-22	5,86	5,06	9,2	148	5,26	1,23	0,0	6,0	6,87	6,87	12,57	53,4	0,0	5,96	3,46	25,4
AB	22-65	5,27	4,43	1,4	94	1,88	0,57	0,21	6,0	2,69	2,90	8,69	31,0	7,2	2,91	1,69	21,0
Bw1	65-125	5,2	4,3	0,7	57	1,38	0,42	0,32	4,9	1,95	2,27	6,85	28,5	14,1	2,28	1,32	20,3
Bwe2	125-150+	4,98	4,27	1,1	14	0,69	0,33	0,64	6,4	1,06	1,70	7,46	14,2	37,6	2,15	1,25	9,6
Perfil 3 - LVd (típico)																	
A	0-12	4,9	4,29	1,6	20	0,55	0,35	0,96	7,9	0,95	1,91	8,85	10,7	50,3	2,15	1,25	6,1
AB	12-30	4,98	4,33	1,0	17	0,30	0,20	0,64	4,8	0,54	1,18	5,34	10,1	54,2	1,27	0,74	5,1
Bw1	30-65	4,68	4,31	0,5	14	0,17	0,13	0,86	3,5	0,34	1,20	3,84	8,9	71,7	0,89	0,52	3,8
Bwe2	65-110	5,34	4,47	2,6	105	2,16	0,68	0,11	7,4	3,11	3,22	10,51	29,6	3,4	3,93	2,28	19,9
Bw3	110-140+	4,75	4,2	0,8	30	0,21	0,21	1,07	6	0,50	1,57	6,50	7,7	68,2	2,79	1,62	13,7
Perfil 4- LVAd (húmico)																	
A	0-20	5,02	4,12	4,9	41	0,09	0,13	1,60	16,4	0,32	1,92	16,72	1,9	83,3	12,67	7,35	12,1
AB	20-45	5,04	4,47	0,7	5	0,09	0,04	0,64	9,4	0,14	0,78	9,54	1,5	82,1	3,30	1,91	5,2
Bw1	45-90	5,29	4,41	1,3	18	0,03	0,06	0,64	9,5	0,14	0,78	9,64	1,5	82,1	5,20	3,02	8,9
Bw2e	90-130	4,98	4,53	0,5	3	0,10	0,04	0,32	7,1	0,15	0,47	7,25	2,1	68,1	2,79	1,62	8,3
Bw3	130-160	4,83	4,68	0,4	0	0,03	0,02	0,11	4,4	0,05	0,16	4,45	1,1	68,8	1,90	1,10	6,3
BC	160-200+	4,91	4,56	0,3	0	0,03	0,02	0,53	6,4	0,05	0,58	6,45	0,8	91,4	2,41	1,40	7,9
Perfil 5- LVd (cambissólico)																	
Ap	0-10	4,85	4,42	1,0	2	0,07	0,04	0,53	7,6	0,12	0,65	7,72	1,6	81,5	3,80	2,20	6,3
A/B	10-20	4,97	4,38	0,7	0	0,09	0,03	0,86	9,0	0,12	0,98	9,12	1,3	87,8	3,42	1,98	4,8
Bw1	20-50	4,85	4,49	0,5	0	0,14	0,04	0,43	5,1	0,18	0,61	5,28	3,4	70,5	2,28	1,32	5,4
Bw2	50-110	4,74	4,73	0,6	0	0,04	0,02	0,11	2,3	0,06	0,17	2,36	2,5	64,7	1,27	0,74	4,7
Ab	110-130	5,47	4,69	3,1	40	2,7	0,72	0,21	9,5	3,52	3,73	13,02	27,0	5,6	6,65	3,86	10,9
ABb	130-150	4,77	4,4	1,4	16	0,3	0,13	0,96	10,1	0,47	1,43	10,57	4,4	67,1	3,42	1,98	10,3
Bib	150-170+	4,92	4,42	0,7	5	0,13	0,07	0,75	9,4	0,21	0,96	9,61	2,2	78,1	3,30	1,91	5,6

continua...

Quadro 3. continuação

Hor. ⁽¹⁾	Prof. ⁽²⁾	pH H ₂ O	pH KCl	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)	V	m	MO	COT	P-rem
	cm			mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³						%		dag kg ⁻¹		mg L ⁻¹	
Perfil 6- CXbd (latossólico)																	
AP	0-15	4,70	4,36	1,9	5	0,10	0,12	0,96	6,7	0,23	1,19	6,93	3,3	80,7	2,91	1,69	10,1
Bi1	15-45	4,71	4,41	1,0	1	0,37	0,16	0,53	3,0	0,53	1,06	3,53	15,0	50,0	0,89	0,52	14,0
Bi2	45-100	4,86	4,56	1,8	0	0,15	0,05	0,53	1,6	0,20	0,73	1,8	11,1	72,6	0,38	0,22	23,4
Ce	100-170	4,77	4,25	4,0	33	0,08	0,11	1,28	14,1	0,27	1,55	14,37	1,9	82,6	9,82	5,7	10,3
CRc	170-190+	4,84	4,42	1,5	14	0,14	0,08	0,64	10,2	0,26	0,9	10,46	2,5	71,1	5,58	3,24	6,3
Perfil 7 - LVd (típico)																	
A1p	0-12	5,16	4,30	1,5	20	0,29	0,23	0,71	7,8	0,57	1,28	8,37	6,8	55,5	3,93	2,28	17,0
A2	12-27	5,06	4,41	1,0	6	0,10	0,05	0,71	5,8	0,17	0,88	5,97	2,8	80,7	3,04	1,76	12,8
AB	27-38	5,13	4,47	0,9	6	0,06	0,03	0,51	5,8	0,11	0,62	5,91	1,9	82,3	2,79	1,62	11,7
BA1	38-53	5,02	4,48	0,9	1	0,06	0,02	0,3	6,2	0,08	0,38	6,28	1,3	787,9	2,79	1,62	10,9
BA2	53-58	5,02	4,45	1,0	2	0,00	0,02	0,71	7,5	0,03	0,74	7,53	0,4	95,9	3,68	2,13	10,1
Bw1	58-80	4,81	4,47	0,9	3	0,00	0,01	0,71	7,5	0,02	0,73	7,52	0,3	97,3	3,55	2,06	6,9
Bwe2	80-130	4,75	4,46	0,8	1	0,00	0,01	0,51	6,8	0,01	0,52	6,81	0,1	98,1	3,04	1,76	8,0
Bw3	130-200+	4,59	4,46	1,3	3	0,02	0,02	0,71	6,2	0,05	0,76	6,25	0,8	93,4	2,53	1,47	9,5
Perfil 8- LVAd (típico)																	
A	0-15	4,96	4,23	1,4	41	0,84	0,82	0,91	9,5	1,76	2,67	11,26	15,6	34,1	5,2	3,02	16,5
AB1	15-30	4,93	4,21	1,1	27	0,57	0,44	1,01	8,5	1,08	2,09	9,58	11,3	48,3	3,93	2,28	16,7
AB2	30-50	4,90	4,20	1,1	18	0,36	0,2	1,11	7,8	0,61	1,72	8,41	7,3	64,5	3,55	2,06	13,4
BA1	50-72	4,86	4,22	1,1	12	0,19	0,11	1,32	6,7	0,33	1,65	7,03	4,7	80,0	3,17	1,84	9,7
BA2	72-110	4,80	4,24	1,0	6	0,07	0,06	1,11	5,0	0,15	1,26	5,15	2,9	88,1	2,53	1,47	10,1
Bw	110-150+	4,69	4,28	1,1	4	0,07	0,04	0,91	6,7	0,12	1,03	6,82	1,8	88,3	2,15	1,25	11,3
Perfil 9 - LVAw (típico)																	
A	0-20	3,90	4,03	1,6	17	0,06	0,07	2,13	12,2	0,17	2,3	12,37	1,4	92,6	6,34	3,68	14,5
AB	20-50	4,30	4,24	0,8	6	0,00	0,03	1,11	6,7	0,05	1,16	6,75	0,7	95,7	2,91	1,69	14,6
BA	50-120	4,37	4,26	0,9	2	0,00	0,01	1,42	7,5	0,02	1,44	7,52	0,3	98,6	2,91	1,69	12,3
Bw	120-250	4,58	4,61	1,1	6	0,00	0,02	0,30	3,2	0,04	0,34	3,24	1,2	88,2	1,65	0,96	11,1
Perfil 10 - LVw (típico)																	
A	0-30	4,80	4,20	1,7	14	0,09	0,03	4,52	11,2	0,16	4,68	11,36	1,4	90,5	5,45	3,16	12,4
Bw1	30-65	4,60	4,36	1,1	3	0,00	0,02	0,61	5,5	0,03	0,64	5,53	0,5	95,3	2,91	1,69	13,1
Bw2	65-130	4,53	4,40	1,0	2	0,01	0,02	0,40	4,2	0,04	0,44	4,24	0,9	90,9	1,77	1,03	12,8
Bw3	130-180+	4,22	4,65	0,9	0	0,00	0,00	0,61	2,2	0,00	0,61	2,20	0,0	100,0	1,27	0,74	10,1

continua...

Quadro 3. continuação

Hor. ⁽¹⁾	Prof. ⁽²⁾	pH H ₂ O	pH KCl	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	(t)	(T)	V	m	MO	COT	P-rem
Perfil 11- CXbd (latossólico)																	
A	0-8	4,72	4,09	3,2	44	0,28	0,11	0,1	8,3	0,50	0,60	8,80	5,7	16,7	4,82	2,80	7,3
AB	8-17	4,76	4,16	2,1	21	0,12	0,05	1,52	6,5	0,22	1,74	6,72	3,3	87,4	3,42	1,98	19,3
BA	17-50	5,05	4,22	1,3	11	0,07	0,03	1,42	4,8	0,13	1,55	4,93	2,6	91,6	2,28	1,32	16,4
Bi	50-85	4,93	4,25	1,2	12	0,03	0,02	1,42	4,2	0,08	1,50	4,28	1,9	94,7	1,39	0,81	13,4
BC	85-135	4,98	4,33	1,5	1	0,00	0,00	1,11	2,2	0,00	1,11	2,50	0,0	100,0	0,89	0,52	15,6
C	135-160	5,38	4,43	1,7	1	0,00	0,01	1,33	3,0	0,01	1,34	3,01	0,3	99,3	0,51	0,30	20,0
Perfil 12- CXbd (típico)																	
Ap	0-34	4,98	4,18	1,5	24	0,83	0,48	0,71	5,2	1,37	2,08	6,57	20,9	34,1	3,04	1,76	23,6
AB	34-53	4,87	4,22	1,2	13	0,46	0,32	0,91	4,2	0,81	1,72	5,01	16,2	52,9	1,77	1,03	18,5
BA	53-70	4,73	4,29	0,9	7	0,16	0,21	0,91	3,3	0,39	1,30	3,69	10,6	70,0	1,65	0,96	15,6
Bi	70-90	5,01	4,41	1,1	5	0,02	0,09	0,81	2,6	0,12	0,93	2,72	4,3	87,5	1,02	0,59	18,4
BC	90-108	5,16	4,46	1,2	6	0,00	0,05	0,51	1,5	0,07	0,58	1,57	4,5	87,9	0,76	0,44	17,7
C	108-125+	5,60	4,46	1,2	19	0,05	0,06	0,3	1,5	0,16	0,46	1,66	9,6	65,2	0,76	0,44	14,3
Perfil 13- GXbd (típico)																	
A	0-10	5,28	4,19	7,4	107	0,41	0,16	1,4	10,9	0,84	2,24	11,74	7,2	62,5	19,83	11,50	15,2
AC	10-15	5,18	4,18	1,7	20	0,21	0,05	1,4	10,6	0,31	1,71	10,91	2,8	81,9	10,24	5,94	9,5
Cg	15-60+	5,24	4,19	1,1	9	0,12	0,02	1,9	7,9	0,16	2,06	8,06	2,0	92,2	2,94	1,71	5,9

⁽¹⁾ Hor: Horizonte; ⁽²⁾ Prof.: profundidade; ⁽³⁾ N° perfil e simbologia segundo EMBRAPA-CNPS (2006) até o 3° nível categórico e 4° nível entre parênteses.

Quadro 4. Atributos físicos dos perfis de solo descritos em polígono de 112,36 km² no município de Araponga – MG.

Hor. ⁽¹⁾	Prof. ⁽²⁾	Areia		Silte	Argila	AN ⁽³⁾	GF ⁽⁴⁾	S/A ⁽⁵⁾	Dp ⁽⁶⁾	Eq. u. ⁽⁷⁾
		AG	AF							
	cm	dag kg ⁻¹				%			kg dm ⁻³	kg kg ⁻¹
Perfil ⁽⁸⁾ 1- LVAd (típico)										
A1p	0-10	29	18	9	44	11	89	0,20	2,60	0,219
A2	10-25	26	18	8	48	16	84	0,17	2,56	0,232
AB	25-48	20	15	10	55	21	79	0,18	2,63	0,259
BA	48-72	19	15	9	57	21	79	0,16	2,67	0,260
Bwe1	72-110	21	15	10	54	18	82	0,19	2,60	0,272
Bw2	110-130	18	16	10	56	4	96	0,18	2,60	0,272
C	130-200+	20	15	7	58	2	98	0,12	2,70	0,272
Perfil 2- LVAd (típico)										
Ap	0-22	32	12	14	42	13	87	0,33	2,63	0,260
AB	22-65	32	12	12	44	16	84	0,27	2,63	0,234
Bw1	65-125	26	12	12	50	22	78	0,24	2,60	0,265
Bwe2	125-150+	21	11	12	56	21	79	0,21	2,60	0,297
Perfil 3- LVd (típico)										
A	0-12	25	12	8	55	19	81	0,15	2,38	0,286
AB	12-30	27	13	9	51	1	99	0,18	2,53	0,282
Bw1	30-65	25	13	13	49	1	99	0,27	2,67	0,295
Bwe2	65-110	24	16	10	50	18	82	0,20	2,63	0,242
Bw3	110-140+	23	13	8	56	21	79	0,14	2,63	0,264
Perfil 4- LVAd (húmico)										
A	0-20	26	18	12	44	7	93	0,27	2,50	0,246
AB	20-45	35	10	11	44	9	91	0,25	2,56	0,279
Bw1	45-90	32	11	9	48	8	92	0,19	2,70	0,246
Bw2e	90-130	29	11	7	53	13	87	0,13	2,67	0,258
Bw3	130-160	24	11	9	56	1	99	0,16	2,70	0,257
BC	160-200+	30	11	10	49	15	85	0,20	2,74	0,256
Perfil 5- LVd (cambissólico)										
Ap	0-10	21	14	10	55	10	90	0,18	2,53	0,293
A/B	10-/20	20	14	7	59	12	88	0,12	2,60	0,284
Bw1	20-50	19	13	9	59	4	96	0,15	2,70	0,292
Bw2	50-110	20	12	8	60	1	99	0,13	2,56	0,304
Ab	110-130	30	22	11	37	4	96	0,30	2,63	0,226
ABb	130-150	32	17	12	39	6	94	0,31	2,74	0,202
Bib	150-170+	28	17	12	43	7	93	0,28	2,63	0,231
Perfil 6- CXbd (latossólico)										
AP	0-15	21	12	10	57	19	81	0,18	2,60	0,292
Bi1	15-45	25	9	31	35	1	99	0,89	2,67	0,280
Bi2	45-100	30	15	35	20	1	99	1,75	2,56	0,205
Ce	100-170	23	13	13	51	5	95	0,25	2,63	0,287
CRe	170-190+	22	14	12	52	9	91	0,23	2,63	0,291
Perfil 7- LVd (típico)										
A1p	0-12	19	16	6	59	11	89	0,10	2,67	0,277
A2	12-27	18	15	7	60	12	88	0,12	2,63	0,268
AB	27-38	18	15	5	62	13	87	0,08	2,70	0,253
BA1	38-53	18	15	7	60	12	88	0,12	2,67	0,262
BA2	53-58	22	16	6	56	10	90	0,11	2,74	0,248
Bw1	58-80	21	16	7	56	12	88	0,13	2,63	0,242
Bwe2	80-130	18	14	7	61	13	87	0,11	2,74	0,267
Bw3	130-200+	16	16	7	61	15	85	0,11	2,63	0,269
Perfil 8- LVAd (típico)										
A	0-15	25	8	5	62	17	83	0,08	2,63	0,238
AB1	15-30	22	6	10	62	21	79	0,16	2,67	0,249
AB2	30-50	19	6	6	69	15	85	0,09	2,70	0,264
BA1	50-72	18	7	3	72	19	81	0,04	2,50	0,267
BA2	72-110	18	6	4	72	21	79	0,06	2,74	0,280
Bw	110-150+	18	7	3	72	1	99	0,04	2,78	0,287

continua...

Quadro 4. continuação

Hor. ⁽¹⁾	Prof. ⁽²⁾	Areia		Silte	Argila	AN ⁽³⁾	GF ⁽⁴⁾	S/A ⁽⁵⁾	Dp ⁽⁶⁾	Eq. u. ⁽⁷⁾
		AG	AF							
cm		dag kg ⁻¹				%		kg dm ⁻³		kg kg ⁻¹
Perfil 9- LVAw (típico)										
A	0-20	19	8	6	67	8	92	0,09	2,53	0,265
AB	20-50	17	9	6	68	12	88	0,09	2,60	0,294
BA	50-120	17	8	3	72	16	84	0,04	2,70	0,294
Bw	120-250	16	9	4	71	0	100	0,06	2,56	0,296
Perfil 10- LVw (típico)										
A	0-30	18	14	8	60	15	85	0,13	2,50	0,318
Bw1	30-65	17	12	7	64	23	77	0,11	2,53	0,297
Bw2	65-130	19	9	5	67	5	95	0,07	2,60	0,293
Bw3	130-180+	17	9	6	68	5	95	0,09	2,56	0,320
Perfil 11- CXbd (latossólico)										
A	0-8	21	11	14	54	20	80	0,26	2,70	0,353
AB	8-17	17	9	16	58	26	74	0,28	2,70	0,371
BA	17-50	15	7	18	60	26	74	0,30	2,74	0,396
Bi	50-85	13	8	18	61	1	99	0,30	2,74	0,393
BC	85-135	16	8	34	42	1	99	0,81	2,86	0,346
C	135-160	26	9	33	32	2	98	1,03	2,70	0,294
Perfil 12- CXbd (típico)										
Ap	0-34	18	23	15	44	14	86	0,34	2,67	0,285
AB	34-53	12	20	15	53	22	78	0,28	2,74	0,335
BA	53-70	11	20	20	49	19	81	0,41	2,74	0,330
Bi	70-90	10	25	30	35	5	95	0,88	2,74	0,310
BC	90-108	9	31	30	30	1	99	1,00	2,74	0,317
C	108-125+	1	15	48	36	1	99	1,33	2,56	0,434
Perfil 13- GXbd ((típico)										
A	0-10	18	7	8	67	45	55	0,12	2,56	-
AC	10-15	16	8	11	65	38	62	0,17	2,56	-
Cg	15-60+	14	7	10	69	20	80	0,14	2,53	0,395

(¹) Hor: Horizonte; (²) Prof.: profundidade; (³) Argila natural; (⁴) Grau de flocculação; (⁵) Relação Silte/Argila; (⁶) Densidade de partículas; (⁷) Equivalente de umidade; (⁸) N° do perfil e simbologia segundo EMBRAPA-CNPS (2006) até o 3° nível categórico e 4° nível entre parênteses.

Quadro 5. Teores de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂ e MnO, determinados pelo ataque sulfúrico e relações moleculares ki e kr de horizontes selecionados dos solos descritos em polígono de 112,36 km² no município de Araponga – MG.

Perfil	Classe ⁽¹⁾	Hor ⁽²⁾	g kg ⁻¹							ki ⁽³⁾	kr ⁽⁴⁾
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO				
1	LVAd (típico)	BA	15,2	19,73	8,06	9,38	0,05	1,31	1,04		
2	LVAd (típico)	Bwe2	7,2	19,73	11,79	8,18	0,01	0,62	0,45		
3	LVd (típico)	Bw3	12,1	23,76	10,96	9,19	0,01	0,87	0,67		
4	LVAd (húmico)	BC	14,1	25,50	11,43	12,04	0,01	0,94	0,73		
5	LVd (cambissólico)	ABb	16,0	21,26	6,70	12,68	0,01	1,28	1,06		
5	LVd (cambissólico)	Bw1	13,3	20,19	7,23	9,13	0,04	1,12	0,91		
6	CXbd (latossólico)	Bi1	14,4	23,20	8,01	10,78	0,04	1,06	0,86		
7	LVd (típico)	Bw3	11,0	22,13	11,65	9,87	0,01	0,85	0,63		
8	LVAd (típico)	Bw	13,8	26,52	12,70	13,82	0,01	0,88	0,68		
9	LVAw (típico)	Bw	22,0	23,15	9,67	13,37	0,01	1,62	1,27		
10	LVw (típico)	Bw3	15,3	29,17	9,51	7,55	0,01	0,89	0,74		
11	CXbd (latossólico)	Bi	25,3	23,86	11,17	6,16	0,01	1,80	1,39		
12	CXbd (típico)	BC	19,5	19,28	7,80	7,55	0,01	1,72	1,37		
13	GXbd (típico)	Cg	21,4	27,89	1,52	9,64	0,01	1,30	1,26		

(¹) Simbologia segundo EMBRAPA-CNPS (2006) até o 3° nível categórico e 4° nível entre parênteses; (²) Hor: horizonte; (³) ki: (SiO₂/Al₂O₃)x1,7; (⁴) kr: (SiO₂ x1,7)/(Al₂O₃ +(0,64xFe₂O₃).

Considerações finais

O levantamento identificou que os LATOSSOLOS estritos e intermediários, como os CAMBISSOLOS latossólicos, ocupam a maior área no polígono 112,36 km² no município de Araponga-MG. Na unidade de mapeamento LVA2, a altitude média é menor do que na unidade LVA1. Na unidade LV, não foi confirmada a expectativa de que as cores vermelhas estivessem associadas ao maior teor de ferro do material de origem. Os solos destas unidades possuem uma sequência de horizontes intemperizados muito profundos, mas LVA1 apresenta horizontes enterrados.

Por serem profundos, estes solos não apresentam restrições físicas ao desenvolvimento radicular das árvores e estão localizados em regiões cujas temperaturas são propícias ao desenvolvimento de café arábica, portanto possuem potencial para a implantação de sistemas agroflorestais com café. Entretanto, o uso de SAFs com café nos solos da unidade de mapeamento LVA1 aproveitaria um potencial não existente nos LATOSSOLOS das outras unidades. Os horizontes enterrados de LVA1 estão fora da zona de concentração radicular do café (em torno de 30 cm), com elevado teor de COT e, não raro, maiores teores de nutrientes, o que contribui para o reciclo de nutrientes proporcionado pelas espécies florestais, cujas raízes ocupam maiores profundidades.

As unidades CX e GX não apresentam aptidão para os SAFs com café em função das características físicas dos solos. Além disso, estas áreas junto com as áreas da unidade AR são áreas de preservação permanente (APPs). Os usos das APPs era proibido pela legislação ambiental até recentemente, entretanto, as possibilidades de regeneração de áreas degradadas e manejo com baixo impacto em pequenas propriedades (Valladares-Pádua *et al.*, 2002) lograram a consideração da permissão de uso e manejo por agricultores familiares. Um exemplo dessa mudança de atitude está explícito na legislação florestal do Estado de Minas Gerais. A Lei nº 18.365, de 01 de setembro de 2009, prevê que “Poderá haver recomposição das APPs por meio da implantação de sistemas agroflorestais que mantenham a finalidade ambiental da área, no prazo máximo de vinte anos, ...”

Referências bibliográficas

- Ab'Saber, A. N. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos da América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários. *Paleoclimas*, v.3, p.1-19. 1977.
- Albuquerque Filho, M. R.; Muggler, C. C.; Schaefer, C. E. G. R.; Ker, J. C.; Santos, F. C. Solos com morfologia latossólica e caráter câmbico na região de Governador Valadares, médio Rio Doce, Minas Gerais: gênese e micromorfologia. *R. Bras. Ci. Solo*, v.32, p.259-270. 2008.
- Benites, V. M. Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica e suas relações com a gênese de solos da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata Mineira. (MS). UFV, Viçosa, 1997. 123 p.
- BRASIL. Projeto RADAMBRASIL: levantamento de recursos naturais. Folhas SF. 23/24. Rio de Janeiro/Vitória. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. Rio de Janeiro, p.775. 1983. (32)
- CETEC. Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2008
- Corrêa, G. F. Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do planalto de Viçosa-MG. (MS Thesis). Univ. Fed. Viçosa, Viçosa, 1984. 87 p.
- CTA. Território da Serra do Brigadeiro – MG. MDA, p.80. 2004
- Deboni, G. Competência legislativa e administrativa, áreas de preservação permanente e reserva legal. Fonte: <http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=6718> (acesso em: 02-02-2011). 2003
- EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solos. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa do Solo. 1997. 212p p.
- EMBRAPA-CNPS. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306 p.
- ESRI. Arc/INFO, versão 7.2.1. Redlands1994.
- _____. ArcView GIS, versão 3.1. Redlands1998.
- Lemos, R. C.; Santos, R. D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Campinas: SBCS: 84p p.1996.
- Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S. B.; Corrêa, G. F. Pedologia: Base para distinção de ambientes. Viçosa. Viçosa: NEPUT. 1995. 304 p.
- Ribeiro, C. A. A. S.; Soares, V. P.; Oliveira, A. M. S.; Gleriani, J. M. O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. *Árvore*, v.29, n.2, p.203-212. 2005.
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline alkali soil. *Salinity Lab*. New York, p.160. 1954. (60)
- Ruiz, H. A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Recife: SBCS, 2005. 30 p.
- _____. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.297-300. 2005.
- Schaefer, C. E. G. R.; Lima, H. N.; Costa, O. V.; e Passos, R. R. Levantamento de solos, paisagem e uso agrícola do Córrego São Bartolomeu. UFV. Viçosa, p.46. 1998

- Schaefer, C. E. G. R.; Simas, F. N. B.; Mendonça, B. A. F.; Fernandes Filho, E. I. Zoneamento Ambiental do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro, MG: Solos, Geomorfologia e Geologia. Ambiente Brasil. Viçosa, p.35 p. 2006
- Sediyama, G. C.; Melo Jr., J. C. F.; Santos. A. R.; Ribeiro, A.; Costa, M. H.; Hamakaua, P. J.; Costa, J. M. N.; Costa, L. C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. Rev. Bras. Agrometeorologia, v.9, n.3, p.501-509. 2001.
- Souza, H. N.; Cardoso, I. M.; Fernandes, J. M.; Garcia, F. C. P.; Bonfim, V. R.; Santos, A. C.; Carvalho, A. F.; Sá Mendonca, E. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. Agroforestry Systems, v.80, n.1, Aug, p.1-16. 2010.
- Valladares-Padua, C; Padua, S.M. ; Cullen Jr., L. Within and surrounding the Morro do Diabo State Park: biological value, conflicts, mitigation and sustainable development alternatives. Environmental Science & Policy, v.5, p.69-78. 2002.

CAPÍTULO 3

CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS E BALANÇO HÍDRICO DO SOLO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO MUNICÍPIO DE ARAPONGA- MG

INTRODUÇÃO

Grande parte da cultura do café (*Coffea arabica* L.) ocupa áreas tropicais anteriormente florestadas (Herzog, 1994; Craswell *et al.*, 1998; Lin, 2007; Lin, 2010) consideradas “hotspots” de biodiversidade no planeta (Myers *et al.*, 2000), como na Zona da Mata de Minas Gerais, situada no sudeste do Brasil. Esta é uma região montanhosa coberta originalmente pelo Bioma da Mata Atlântica. Esta região é ocupada por um grande número de pequenas propriedades manejadas por agricultores familiares, com alta concentração demográfica nas áreas rurais (Freitas *et al.*, 2004) e com a cultura do café representando a principal fonte de renda destes agricultores (Carvalho, 2000).

Na segunda metade do século XX, o modelo agrícola reconhecido como o da revolução verde alterou profunda e extensivamente os sistemas de produção adotados nas regiões tropicais. Esse modelo apresentou sucessos no aumento da produção total. No entanto, a partir das décadas de 70 e 80 do século XX, os impactos negativos sobre as sociedades agrícolas diretamente modificadas e o meio ambiente das áreas

relacionadas foram tão evidentes, que promoveram uma reflexão sobre as bases desse modelo (Conway, 1997). Desde o final da década de 1980, ONGs, universidade e organizações de agricultores, vêm desenvolvendo e testando alternativas para minimizar as dificuldades dos agricultores na região da Zona da Mata de Minas Gerais com base em princípios agroecológicos (Carvalho, 2000; Cardoso e Ferrari, 2006). Essas instituições promoveram, a partir de 1994, a implantação de unidades de observação de sistemas agroflorestais com café. O desenho, implementação e manejo dos sistemas agroflorestais teve a participação efetiva dos agricultores concebida como um processo de experimentação participativa (Souza *et al.*, 2010).

As características fisiológicas o café permitem que seja cultivado em sistemas sombreados por árvores (DaMatta, 2004). Os SAFs com café podem contribuir para a conservação da biodiversidade e prestação de serviços ambientais, tanto para as populações locais quanto para a sociedade global (Rice, 2008; Martinez *et al.*, 2009). Dentre os possíveis serviços ambientais destacam-se: (i) redução das perdas de solo e água por escoamento superficial (Craswell *et al.*, 1998); (ii) maior profundidade de raízes que resultam em maior eficiência do uso da água pluvial (Harmand *et al.*, 2007; Cannavo, 2011); (iii) aumento da diversidade biológica (Cardoso *et al.*, 2010); (iv) ferramenta estratégica de manejo do microclima frente aos riscos de alterações climáticas globais (Lin, 2007; Siles *et al.*, 2010) e v) aumentar a eficiência da conversão da radiação (Pezzopane, 2007).

A radiação incidente é um fator ecológico que controla direta e indiretamente o crescimento dos elementos dos sistemas agroflorestais. Por um lado a radiação eleva a temperatura do ambiente e é responsável pela maior parte do déficit hídrico da atmosfera, promovendo a transpiração das plantas. No processo de transpiração parte da radiação é consumida e tampona variações extremas de temperatura (Pezzopane, 2007). Por outro lado, a transpiração reduz os excessos hídricos que abastecem o lençol freático, importante para a manutenção dos cursos d'água (Köhler *et al.*, 2010). A cobertura arbórea atenua a incidência de radiação no estrato arbustivo ocupado pelo café e reduz a demanda de evaporação pela cultura (Pezzopane, 2007). Portanto, o conhecimento das variáveis meteorológicas e do balanço hídrico no solo contribui para avaliar a prestação de serviços ambientais de sistemas agrícolas que contêm elementos que transpiram a água e controlam a temperatura do ambiente, especialmente os elementos arbóreos dos SAFs. Cannavo *et al.* (2011) e Köler *et al.* (2010) estudaram o balanço hídrico e a radiação em sistemas de produção em regiões com precipitação total

anual maiores do que 2.500 mm, consideradas altas precipitações e encontraram complementariedade de absorção de água ao longo do ano entre os estratos arbóreo e arbustivo. Comportamentos similares foram descritos para regiões com baixas precipitações anuais no Senegal (\cong 700 mm: Raddad & Luukkanen, 2007) e na Austrália (\cong 500 mm: Ellis *et al.*, 2005). Apesar de algumas pesquisas ressaltarem inúmeros resultados positivos dos SAFs implantados na Zona da Mata de Minas Gerais, contribuindo com a biodiversidade (Siqueira, 2008; Fernandes, 2007) e a ciclagem de nutrientes (Duarte, 2007), poucos trabalhos abordam o consumo de água e a conversão da radiação de SAFs com café em regiões tropicais com precipitação em torno dos 1500 mm, como ocorrem em extensas áreas no sudeste do Brasil.

O objetivo deste estudo foi comparar condições microclimáticas e o balanço hídrico do solo de sistemas agroflorestais implantados no município de Araponga-MG.

Metodologia

Seleção e caracterização das áreas de estudo

O clima da região é classificado como do tipo mesotérmico de altitude, quente-temperado, chuvoso: Cwb (Köppen), umidade relativa média de 80 %, precipitação média anual de 1.345 mm, com temperatura média do mês mais quente inferior a 22,0 °C, verões frescos e chuvosos e invernos secos (Romanoviski, 2001). O regime pluviométrico é caracterizado por um período chuvoso, durante os meses de novembro a março e por um período seco de abril a outubro (IEF-MG, 2007).

As áreas de estudo foram selecionadas no município de Araponga-MG (Figura 1) dentre 31 sistemas agroecológicos de produção de café implantados e mantidos por agricultores familiares durante duas décadas, demonstrando viabilidade sócio-econômica para a região (Cardoso *et al.*, 2000; Ferrari, 2005; Souza, 2006). As práticas agrícolas adotadas nesses sistemas atendem aos princípios da ciência agroecológica (Mendonça, 2009), dentre eles: plantio de leguminosas no estrato herbáceo, com controle mecânico das plantas invasoras, promovendo cobertura vegetal do solo; adubações químicas e calagem em pequenas dosagens e supressão de uso de agrotóxicos. Foram escolhidos dois sistemas agroecológicos com café (I e II) contendo áreas contíguas com alto nível de sombreamento, denominados sistema agroflorestal (SAF) e baixo nível de

sombreamento, denominados sistema a pleno sol (SPS). A escolha dos sistemas SAF e SPS contíguos em cada propriedade procurou garantir que as práticas de manejo e a posição no relevo fossem homogêneas, permitindo avaliar o efeito comparativo da densidade de árvores. O sistema agroecológico I localiza-se em uma propriedade na microbacia do córrego São Félix. O sistema agroecológico II localiza-se na microbacia do Córrego São Joaquim. No SPS_I não há nenhuma árvore para além das plantas de café. No SPS_{II}, embora existam algumas árvores esparsas, os pontos de coletas foram determinados de forma a receber influencia mínima dessas árvores e por isto, para efeito dos estudos aqui realizados, as mesmas foram desconsideradas.

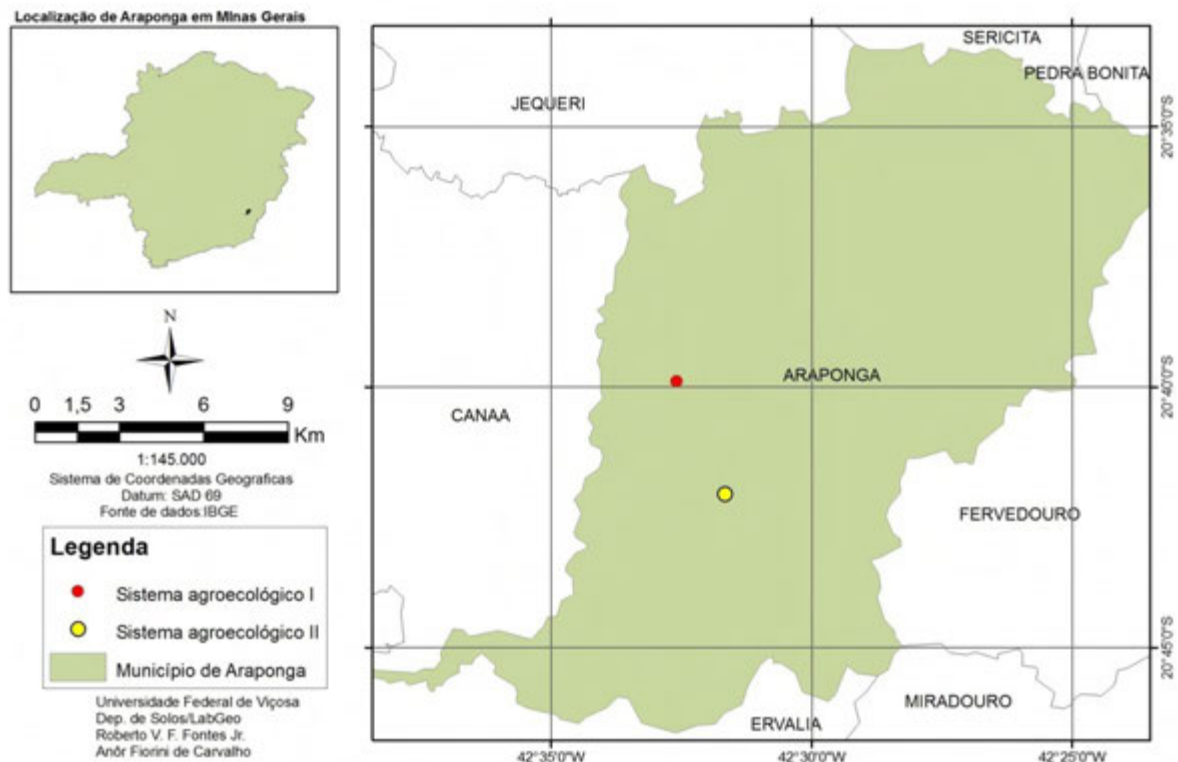


Figura 1. Localização dos sistemas agroecológicos I e II no município de Araponga – MG.

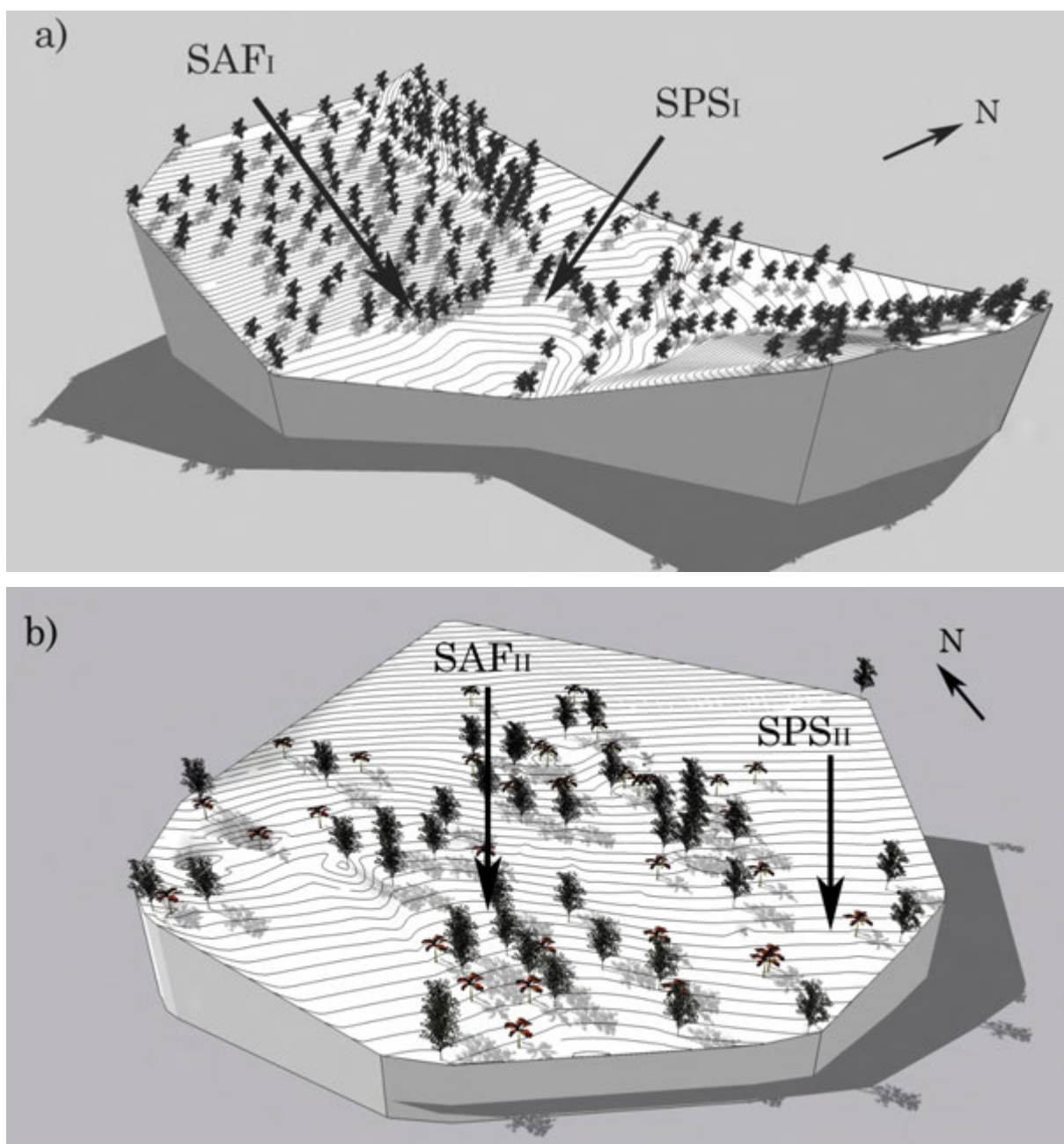


Figura 2. Modelo digital de elevação dos sistemas agroecológicos I (a) e II (b), situados no município de Araponga-MG, contendo os sistemas agroflorestais (SAF) e a pleno sol (SPS), indicando os principais elementos arbóreos com projeção de sombra para o dia 1º de janeiro às 14:00 hs.

Sistema agroecológico I – SAF_I e SPS_I

O sistema agroecológico I, contendo as áreas SAF_I e SPS_I (42° 31' 45,4" W, 20°41' 53,9" S) está situado a 1040 m de altitude, em terço inferior de encosta côncava sob relevo suave ondulado (\cong 12 % de declividade), com orientação solar NE. O solo foi identificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico cambissólico argiloso, de

acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 5ª. aproximação (EMBRAPA-CNPS, 2006). A parcela do SPS_I foi cultivada com milho, feijão e pastagem durante o século XX por períodos de tempo não registrados e, ultimamente, somente com pastagem até o ano de 1975. Entre 1975 e 1982 a área foi cultivada com milho e arroz de sequeiro, produzindo 7 safras consecutivas. Em 1988 foi plantado café (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho), ocupando uma área de 0,75 ha com 2500 plantas de café em espaçamento de 3 x 1 m. As plantas espontâneas foram controladas com roçadas altas. Foi aplicado calcário nos anos de 1999, 2001, 2004 e 2006 na dosagem de 200 g por cova de café. O café recebeu adubação anual de 200 g/cova da formulação 20-05-20. Foram plantados feijão e milho nas entrelinhas até 2006, com aplicação de adubo 04-14-08 na dosagem de 30 g m⁻². Entre 2006 e 2009 foi interrompido o cultivo com feijão e milho e as capinas foram substituídas por roçagem e deposição do material vegetal cortado na superfície do solo. Em 2009 o milho voltou a ser plantado e a capina se limitou a impedir a competição das espontâneas com as plântulas. O solo permaneceu com ampla cobertura vegetal. Esta parcela não recebeu agrotóxicos em nenhum momento. Em 2007, um ano de baixa produção, devido à bianualidade da cultura, a produtividade foi de 0,45 kg de café beneficiado por planta. A área do SAF_I foi manejado de forma similar ao SPS_I até o ano de 1982. A partir daí, o solo degradado pelo plantio de arroz permaneceu em pousio até 1988, quando foi plantada uma cultura de café que não cresceu satisfatoriamente e foi abandonada. Em 1991 foram plantados capim napier (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier) e as espécies arbóreas uva-do-japão (*Hovenia dulcis* Thunb.), sobrasil (*Colubrina glandulosa* Perkins) e ingá (*Inga sessilis* Mart. e *Inga subnuda* subsp. *luschnathiana* (Benth.) T.D. Penn.). Em 1995 o napier foi erradicado e plantado café (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho) sob as árvores, em uma área de 0,15 ha, com 500 plantas de café no espaçamento de 3 x 1 m. Foram feitas capinas mecânicas até 1998. A partir daí o sombreamento das árvores controlou a ocorrência das plantas espontâneas. Foi aplicado calcário nos anos de 1999, 2001, 2004 e 2006 na dosagem de 200 g por cova de café. O café recebeu adubação anual de 200 g/cova da formulação 20-05-20. Esta área não recebeu agrotóxicos em nenhum momento. Em 2007, um ano de baixa produção, devido à bianualidade da cultura, a produtividade foi de 0,36 kg de café beneficiado por planta.

Sistema agroecológico II – SAF_{II} e SPS_{II}

O sistema agroecológico II contendo as áreas SAF_{II} e SPS_{II} (W 42° 32' 34,5", S 20° 39' 52,7"), com 0,1 ha, está situado a 923 m de altitude, em terço médio de encosta convexa sob relevo forte ondulado (\cong 25 % de declividade), com orientação solar SO. O solo foi identificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico argiloso, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 5ª. aproximação (EMBRAPA-CNPS, 2006). Esta área foi ocupada com pastagem de capim gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.) durante a década de 80 do século XX. Em 1994 o capim foi cortado, deixado decompor e incorporado ao solo. Em 1995 foi implantada lavoura de café (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho e Amarelo) e plantadas árvores de 25 espécies, dentre nativas e exóticas. Foram plantados capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier) e as leguminosas calopogônio (*Calopogonio mucunoides* Desv.) e soja perene (*Glycine wightii* (Wight & Arn.) Verdc.) nas entrelinhas do café. Em 1998 foi feita uma retirada de árvores. A escolha das espécies que permaneceriam obedeceu aos critérios empíricos observado pelo agricultor: associação positiva com o café e deciduidade das folhas no outono. Segundo o agricultor, a espécie *Erythrina verna* Vell. é a que melhor atende a esses critérios. Os argumentos do agricultor para a adoção desse critério foram: favorecimento de entrada de luz e redução da mão-de-obra. Entretanto, uma vez que o número de exemplares de espécies perenifólias era muito grande, ao final do corte seletivo, a maioria das árvores remanescentes na área não são decíduas. Nesse mesmo ano foram erradicadas as plantas de capim elefante que haviam crescido, dominado o estrato arbustivo e competido com o café, exigindo cortes frequentes e grande consumo de mão-de-obra. A erradicação foi feita com auxílio de herbicida aplicado de forma dirigida. A partir daí a área não recebeu agrotóxicos. A lavoura recebeu calagens a cada três anos na dosagem de 100 g por cova de café. O café recebeu adubação anual de 100 g/cova da formulação 20-05-20. O manejo das plantas espontâneas foi feito com ferramentas manuais. As espécies arbóreas recebem anualmente podas de condução, facilitando a entrada de luz nos locais em que a densidade das copas é alta.

Análises físicas e índice de capacidade de água disponível (ICAD)

Os solos foram coletados e descritos de acordo com Lemos e Santos (1996) e identificados de acordo com EMBRAPA-CNPS (2006). A análise granulométrica do solo foi feita segundo EMBRAPA (1997) com sugestões propostas por Ruiz (2005a,

2005b). A argila dispersa em água, densidade de partículas do solo, o grau de flocculação e o ataque sulfúrico na TFS foi feita segundo EMBRAPA (1997). A identificação das classes de solo seguiu os critérios estabelecidos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA-CNPS, 2006). A porosidade total foi determinada pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas do solo. A microporosidade foi obtida em amostras indeformadas segundo EMPRAPA (1997). A macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade. A retenção de água nas tensões de -10 kPa (tomado como capacidade de campo CC) e - 1500 kPa (tomado como ponto de murcha permanente PMP) foi determinada segundo Richards (1954). O intervalo entre CC e PMP foi considerado a capacidade de água disponível do solo (CAD).

$$CAD = CC - PMP$$

O teor de água do solo (H_2O_s) foi comparado ao intervalo de água disponível, gerando o índice de capacidade de água disponível - ICAD,

$$\Delta H_2O_s = H_2O_s - PMP$$

$$ICAD = \Delta H_2O_s / CAD$$

O ICAD representa o teor relativo da água no solo ao intervalo de água disponível. Ou seja, ICAD = 0 significa solo com umidade no ponto de murcha permanente e ICAD = 1,0 indica solo com umidade na capacidade de campo.

Índice da área foliar e radiação transmitida

Para estimar o índice de área foliar das áreas foi utilizado o método de fotografias hemisféricas (Schleppi *et al.*, 2007). Fotografias hemisféricas foram colhidas em 30 pontos de cada área, em 4 épocas do ano (julho/09; novembro/09; março/10 e maio/10) com câmara Nikon Coolpix 8000 a 2,0 m do nível do solo, acima das plantas de café nas áreas SPS e SAF dos sistemas I e II, para comparar o efeito da presença das árvores nos sistemas. Foram colhidas até 7 fotos do mesmo ponto com ajustes de sensibilidade desde -0,7 ev até +0,7 ev. As fotos foram selecionadas preferencialmente dentre as colhidas sob céu encoberto e com sensibilidade que permite maior contraste entre céu e obstáculos. As fotos foram feitas em formato "RAW", que acumula os dados de todos os pixels, sem compressão. As fotos foram tratadas em programa de tratamento de imagens "Photoshop" CS5. Foi criada uma máscara para delimitar a área ao centro das fotos que exclui qualquer influência do relevo, pois nesses locais as elevações ocupam grandes

proporções nas fotos hemisféricas. A mesma máscara foi utilizada em todas as fotos. As áreas ocupadas com os grandes troncos e galhos das árvores foram excluídas manualmente para aumentar a proporção de área coberta com folhas. O índice de área foliar (IAF) foi calculado com o programa HEMISFER (Schleppi *et al.*, 2007) configurado para 5 anéis de 11 graus, opção “threshold” automática e estimativa segundo algoritmo LiCor-LAI2000.

A radiação transmitida através do dossel foi calculada segundo a equação:

$$I = I_0 \cdot e^{-K \cdot \text{IAF}}$$

sendo: I – radiação transmitida, I_0 – radiação total (medida pelos sensores), K – coeficiente de extinção e IAF – índice de área foliar. O coeficiente de extinção K adotado foi de 0,75, obtido em literatura para sistema com composição florística de espécies nativas da Mata Atlântica na região sudeste do Brasil (Campoe, 2008).

Dados meteorológicos, umidade do solo e balanço hídrico

Os dados meteorológicos foram obtidos em estações (E-5000, Irriplus Equipamentos) com armazenagem de dados horária, instalados a 2 m de altura do solo, acima das copas das plantas de café, no centro de cada área, no período de 21/08/2009 até 06/07/2010, constando de: (i) precipitação pluvial obtida por pluviômetros eletromecânicos. A precipitação que efetivamente chega ao solo é menor do que a precipitação total medida, já que há interceptação da água pelo dossel tanto das árvores quanto do café. A estimativa da precipitação efetiva foi calculada utilizando dados de literatura. Para o manejo SPS foi adotado o fator redutor da precipitação total de 0,905 (Miranda, 2004). Para o manejo SAF foi adotado o fator redutor da precipitação total de 0,7964 (Siles *et al.*, 2010; Santos, 2009; Gomes *et al.*, 2008 e Miranda, 2004); (ii) temperatura do ar medida por sensores termopar. instalados em abrigo; (iii) umidade relativa medida com sensores capacitivos; (iv) vento medido com anemômetro de conchas e (v) radiação medida com fotodiodo. Os dados meteorológicos foram utilizados para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET₀) de acordo com os procedimentos propostos por Penman-Monteith e assumidos como padrão pela FAO (Food and Agricultural Organization) descritos por Allen *et al.* (1998).

A umidade do solo foi tomada com sensores reflectômetros (Udawatta *et al.*, 2010) de umidade do solo (CS 616, Campbell Scientific). Os sensores foram inseridos horizontalmente nas profundidades de 0,1, 0,3 e 1,0 m em parede de uma trincheira cavada sob a projeção das copas das plantas de café e posteriormente preenchidas. Os

resultados foram considerados teores médios de água de três camadas: I) 0,0–0,2 m; II) 0,2-0,4 m e III) 0,4-1,60 m. Os teores de água das três camadas avaliadas foram computados para estimar o volume total de água no perfil (mm), totalizados em base diária. Os sensores de umidade foram calibrados por método gravimétrico. A temperatura do ar a 1m do nível do solo foi obtida por termistores (107-L, Campbell Scientific) instalados em abrigo. Os sensores de temperatura e umidade foram acoplados e operados por equipamento de controle e armazenagem de dados (CR 1000, Campbell Scientific), configurados para registro horário.

O balanço hídrico do solo foi feito utilizando os dados de lâmina de água total das três camadas do solo (0 a 1,6 m) e a precipitação efetiva, totalizados em base diária. Os componentes do balanço hídrico foram modelados em três etapas, utilizando as seguintes equações:

$$ETr = \sum_{i=1}^n Arm_{(i-1)} - Arm_{(i)} \quad (1)$$

$$ETr = \sum_{i=1}^n Arm_{(i-1)} + PPtef_{(i)} - Arm_{(i)} \quad (2)$$

$$Dre = \sum_{i=1}^n Arm_{(i-1)} + PPtef_{(i)} - CC - ETr = Arm_{(i-1)} + PPtef_{(i)} - DRe - Arm_{(i)} \quad (3)$$

Sendo: ETr: evapotranspiração real; Arm: lâmina de água armazenada em mm; PPtef.: precipitação efetiva; CC: capacidade de campo em mm e DRe: drenagem calculada.

O índice Kc, que compara a evapotranspiração real (ETr) com a evapotranspiração de referência (ET0), foi calculado mensalmente pela equação:

$$Kc = ETr / ET0 \quad (4)$$

Resultados e discussão

Os solos dos sistemas agroecológicos I e II foram descritos e identificados como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico cambissólico e LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, respectivamente. São solos argilosos (Quadro 1), com densidade em torno de 900 a 1100 g dm⁻³ e alta condutividade hidráulica saturada, segundo sistema de classificação de USDA (1993).

A textura dos solos de todos os sistemas é argilosa (Quadro 1). A camada III do SAF_I possui teores médios de argila e altos de silte. Os valores de argila dispersa em água podem ser explicados pelos teores médios e altos de MOS nas camadas mais

superficiais dos solos, bem como pela prática da calagem adotada nesses sistemas. A densidade do solo apresenta valores entre 900 e 1200 g dm⁻³, comparáveis a solos com

Quadro 1. Análise granulométrica, argila dispersa em água (ADA), matéria orgânica do solo (MOS), densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), porosidade (total, macroporosidade e microporosidade), condutividade hidráulica saturada e retenção de água do solo na capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP), sob cultura de café em dois sistemas agroecológicos I e II, sob manejo agroflorestal (SAF_I e SAF_{II}) e pleno sol (SPS_I e SPS_{II}), no município de Araponga, MG.

Solo	Prof.	Análise granulométrica				ADA	MOS	Densidade		Porosidade do solo			Cond.hidr. saturada	Retenção H ₂ O	
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			Ds	Dp	Total	Microp	Macrop		CC	PMP
	m	-----dag kg ⁻¹ -----				%	dag kg ⁻¹	---g dm ⁻³ ---		-----m ⁻³ m ⁻³ -----			mm h ⁻¹	---kg kg ⁻¹ ---	
SAF _I	0,10	21	12	10	57	19	2,91	979,4	2530,0	0,61	0,34	0,28	431,48	0,338	0,219
	0,30	25	9	31	35	1	0,89	1047,2	2530,0	0,59	0,39	0,20	6,06	0,394	0,231
	1,00	23	13	13	51	5	0,38	892,7	2550,0	0,65	0,38	0,27	1,83	0,395	0,240
SPS _I	0,10	21	14	10	55	10	3,80	1087,3	2500,0	0,57	0,39	0,17	49,60	0,366	0,204
	0,30	19	13	9	59	4	2,28	1139,4	2560,0	0,55	0,40	0,15	24,18	0,395	0,230
	1,00	20	12	8	60	1	1,27	1090,1	2590,0	0,58	0,44	0,14	1,17	0,427	0,232
SAF _{II}	0,10	29	18	9	44	11	4,75	1048,5	2560,0	0,59	0,36	0,23	291,11	0,327	0,191
	0,30	20	15	10	55	21	4,54	961,0	2580,0	0,63	0,35	0,28	312,41	0,338	0,210
	1,00	18	16	10	56	4	1,65	907,9	2590,0	0,65	0,37	0,28	148,34	0,370	0,213
SPS _{II}	0,10	30	18	10	42	12	5,07	1195,0	2580,0	0,54	0,32	0,22	330,42	0,303	0,161
	0,30	20	14	10	56	13	3,59	1180,7	2570,0	0,54	0,32	0,22	208,91	0,303	0,173
	1,00	19	13	9	59	2	1,47	981,7	2590,0	0,62	0,34	0,28	142,86	0,332	0,197

baixa densidade. A porosidade total também é alta (0,54–0,65 m⁻³ m⁻³). A condutividade hidráulica em meio saturado do SAF_{II} e SPS_{II} está dentro da classe alta e do SAF_I e SPS_I se enquadra nas classes baixa a moderadamente baixa. Os sistemas de manejo não tiveram grande influência sobre os resultados da retenção de água nos potenciais de -10 kPa e -1500 kPa. O sistema SPS_I é o que apresenta valores mais elevados de intervalo entre esses parâmetros, possivelmente relacionado ao aumento da microporosidade. Os valores de todas essas variáveis possuem uma ordem de grandeza e uma tendência de variação similar aos encontrados por Aguiar (2008), obtidos nessa mesma área.

A Figura 3 apresenta exemplos das fotografias hemisféricas usadas para estimar o índice de área foliar dos sistemas e calcular a transmissão da radiação pelo dossel (Quadro 2). A variação do índice de área foliar (IAF) expressa o crescimento das espécies que compõem os sistemas. A espécie predominante no SAF_I é o ingá cujo IAF aumentou entre julho/09 e maio/10. As podas feitas no SAF_{II} no início da estação chuvosa reduziram a área foliar do dossel e conseqüentemente reduziram o IAF. As espécies presentes no SAF_{II} recuperaram a área foliar em março e maio/2010. Os valores médios de IAF estão próximos dos obtidos por Campoe (2008) que registrou índices em torno de 1,71 para regeneração manejada de fragmento de Mata Atlântica. A relação I/I₀ média das 4 épocas para o sistema I é de 0,17 e para o sistema II é de 0,30, indicando a maior interceptação da radiação no sistema coberto com ingá. Tanto os tipos de espécies arbóreas quanto o manejo alteraram significativamente a oferta de radiação para o estrato arbustivo ocupado pelo café. O sistema I é homogêneo e predomina o ingá que toca as copas e confere cobertura contínua.

Quadro 2. Índice de área foliar, radiação incidente e radiação transmitida dos sistemas agroecológicos I e II, manejados em agrofloresta (SAF), localizados no município de Araponga-MG.

mês/ano	IAF ⁽¹⁾	I ₀ ⁽²⁾	I ⁽³⁾	I/I ₀
	m ² m ⁻²	————MJm ² ————		
		SAF _I		
jul-09	2,10	11,68	2,42	0,21
nov-09	2,49	17,15	2,65	0,15
mar-10	2,47	12,55	1,97	0,16
mai-10	2,52	8,91	1,35	0,15
		SAF _{II}		
jul-09	1,42	11,68	4,03	0,34
nov-09	1,41	21,15	7,35	0,35
mar-10	1,74	15,62	4,24	0,27
mai-10	1,91	10,21	2,44	0,24

1: Índice de área foliar; 2: Radiação incidente; 3: Radiação transmitida obtida pela equação $I = I_0 \cdot e^{-0,75IAF}$.

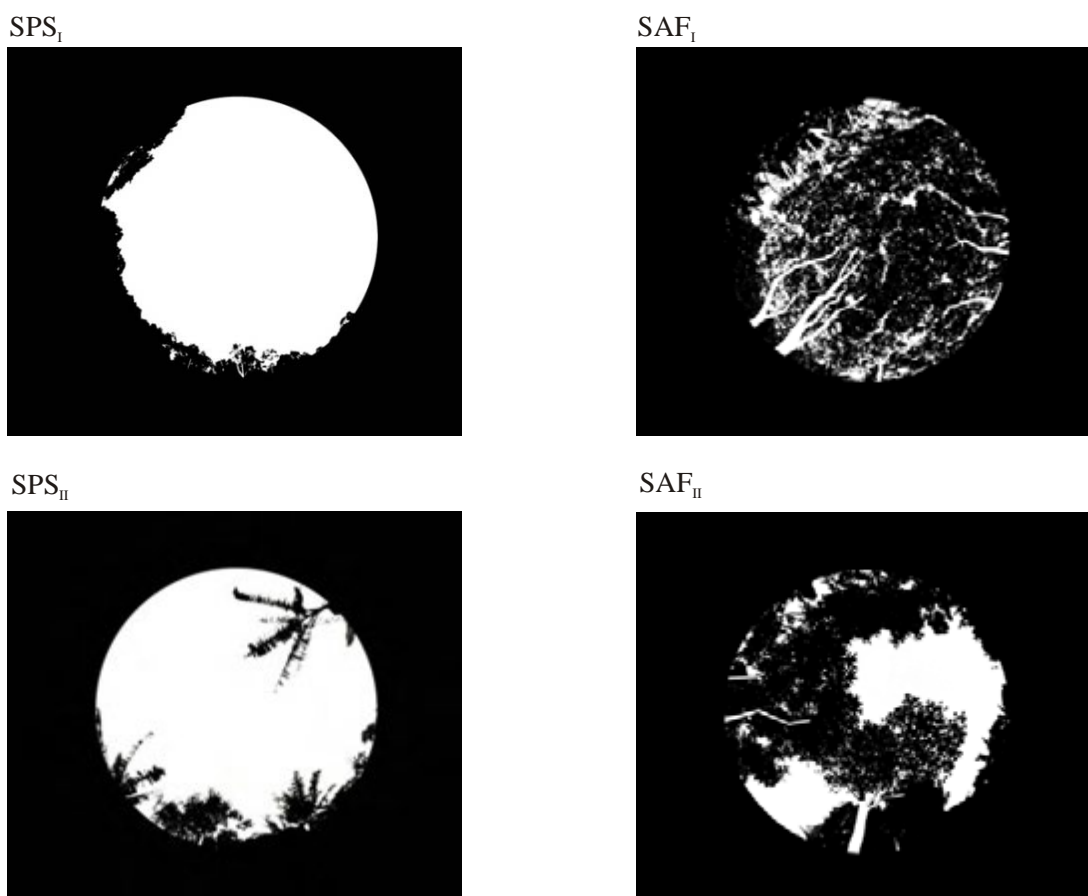
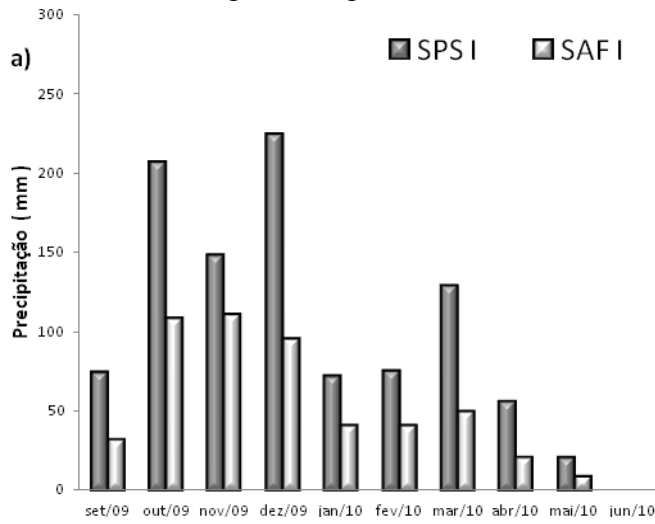


Figura 3. Fotos hemisféricas representativas dos sistemas agroecológicos I e II, manejados a pleno sol (SPS) e em agrofloresta (SAF), localizados no município de Araponga-MG.

O sistema II é heterogêneo, com espécies de vários tipos de conformação de copa e permite aberturas no dossel. Além disso, o sistema II foi manejado com poda, aumentando a entrada de luz. A maior produtividade de café do sistema II estaria ligada à maior disponibilidade de luz conforme enfatizado por DaMatta (2004). Matsumoto *et al.* (2004) considera essas características como essenciais para o desenho de sistemas agroflorestais. As possibilidades de escolha das espécies e de manejo do dossel conferem plasticidade aos sistemas agroflorestais diante das alterações de oferta de radiação, temperatura, regime hídrico e interesse dos agricultores, tanto na produção do café quanto dos produtos advindos das espécies arbóreas.

A Figura 4 apresenta os resultados de precipitação pluvial, temperatura do ar, radiação total incidente, velocidade do vento, o déficit de pressão de vapor e a evapotranspiração de referência calculada.

Sistema agroecológico I



Sistema agroecológico II

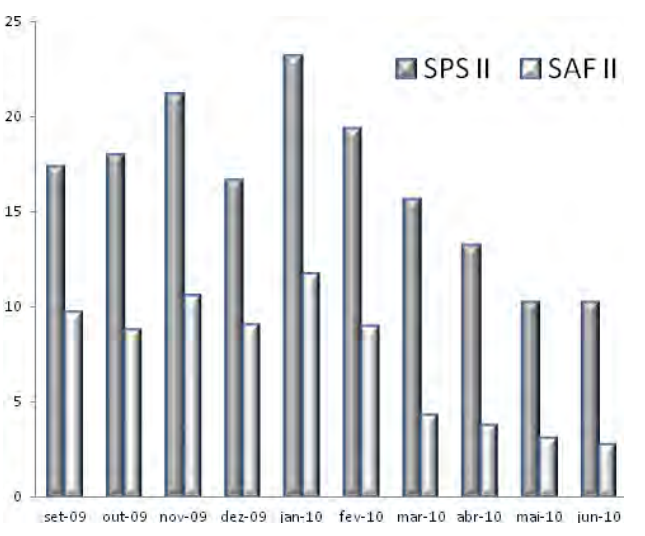
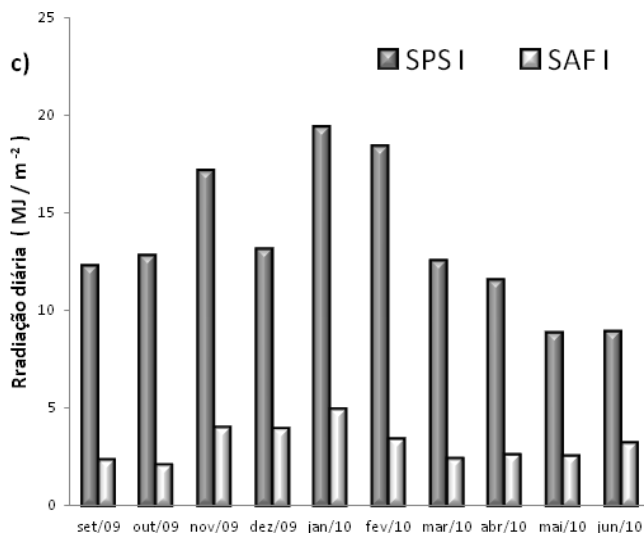
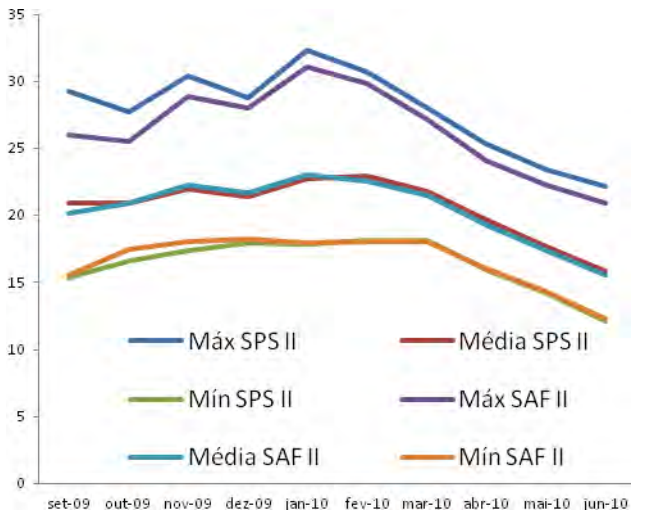
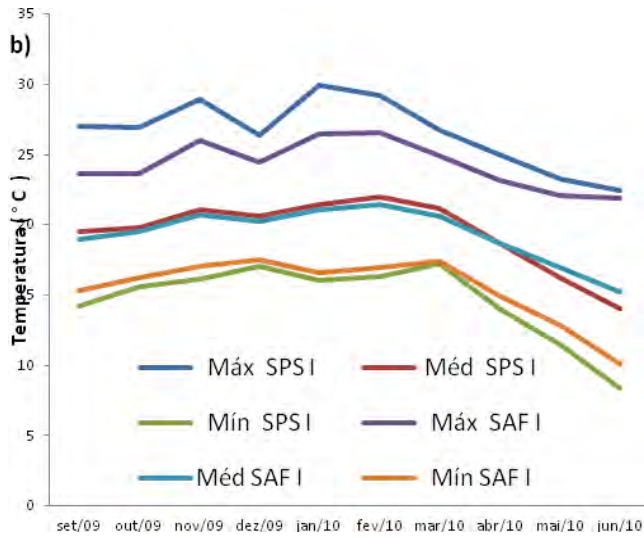
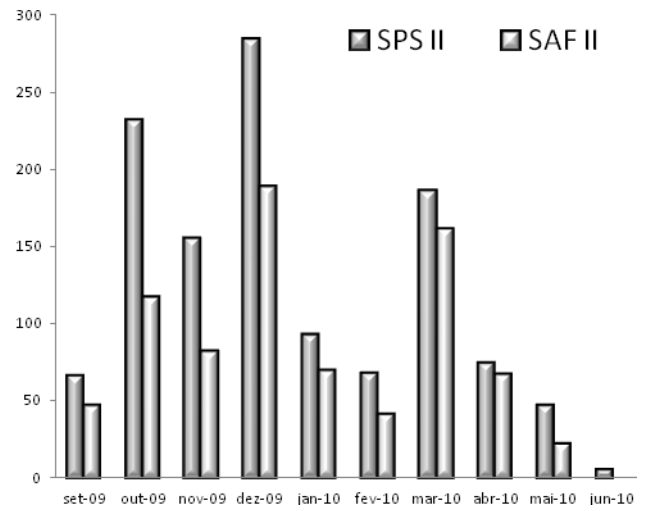


Figura 4. Variáveis meteorológicas: precipitação (a); temperatura do ar (b); radiação (c); de dois sistemas agroecológicos com café, I e II, sob manejo agroflorestal (SAF_I e SAF_{II}) e pleno sol (SPS_I e SPS_{II}), no município de Araponga, MG. (continua)

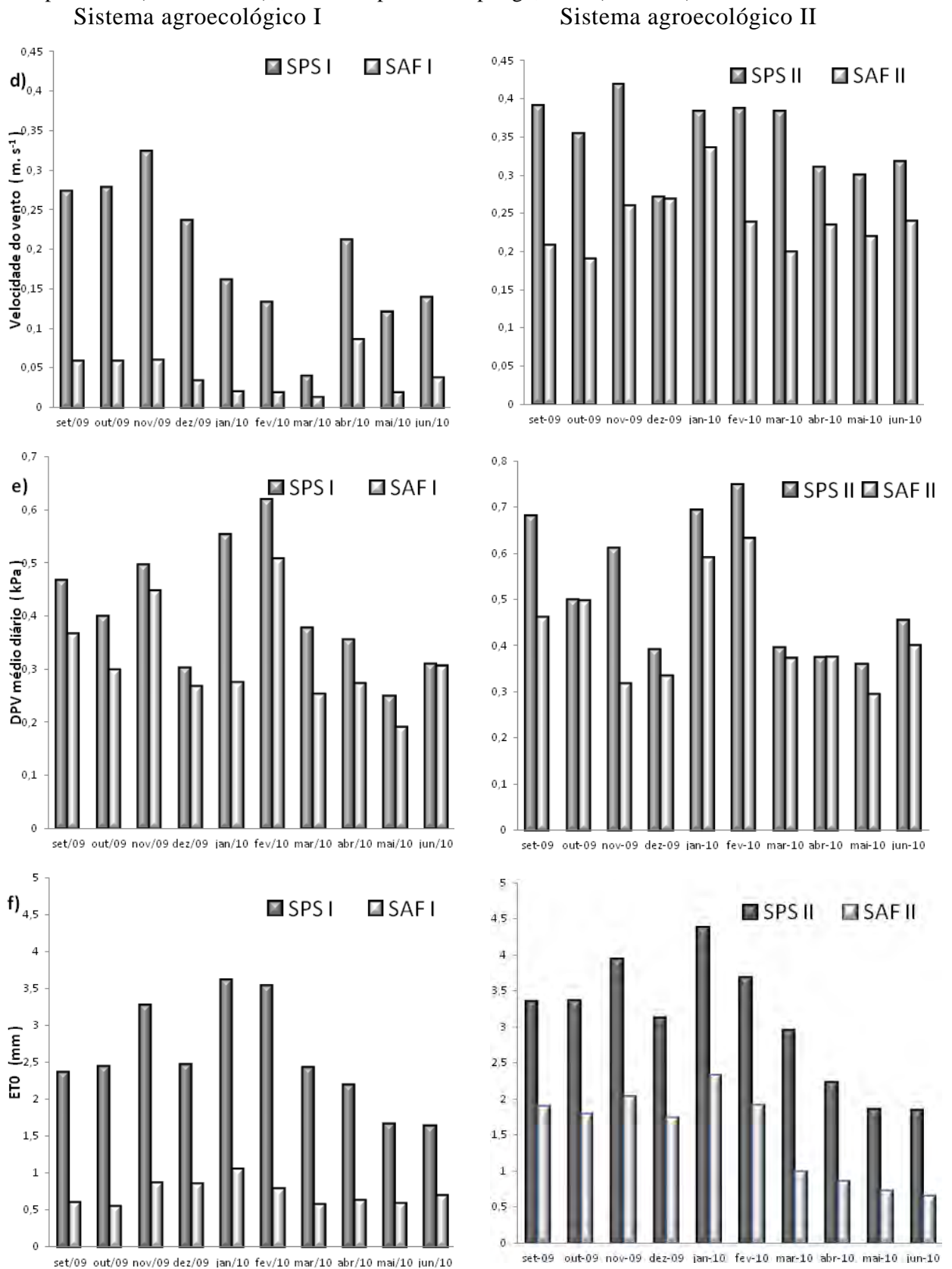


Figura 4. (continuação): velocidade do vento (d); déficit de pressão de vapor (e) e evapotranspiração de referência (f).

As temperaturas máxima, média e mínima do ar (Figura 4; b) refletem a densidade de sombreamento dos sistemas. A diferença entre as temperaturas máximas dos SAF_I e SPS_I são maiores nos meses de verão e chegam a alcançar 3,45 °C no mês de janeiro/2010. As árvores do SAF_{II} foram podadas no início da estação chuvosa de 2009, promovendo maior penetração de radiação e aumento da temperatura. Por isso a diferença entre as temperaturas máximas do SAF_{II} e SPS_{II}, a partir do mês de novembro/2009, é menor do que entre o SAF_I e SPS_I. As temperaturas mínimas dos SAFs são maiores do que as dos SPS. As árvores presentes nos SAFs emitem a radiação no período noturno. Nos SPS a radiação emitida propaga para a atmosfera e reduz a quantidade de energia transformada em calor sensível. As temperaturas médias de ambos os sistemas são similares na maior parte do ano. Nos meses mais frios as temperaturas médias dos SAFs foram maiores dos SPS em função da maior contribuição relativa das temperaturas mínimas

As árvores exerceram forte controle da incidência da radiação no estrato ocupado pelo café (Figura 4; c). Esse efeito foi mais pronunciado no sistema I, onde houve redução de 75,94 % da média anual de radiação entre o SPS e o SAF. No sistema II essa redução foi de 58,27 %. A radiação foi mais baixa no mês de dezembro do que nos outros meses do verão 2009/10. Esse mês foi o mais chuvoso do período, o que permite inferir que houve maior cobertura do céu por nuvens. A presença das nuvens aumenta a proporção da radiação difusa em relação à radiação direta, aumentando a proporção de radiação que penetra no dossel das árvores e alcança o estrato ocupado pelo café.

Os principais fatores determinantes da evapotranspiração de um sistema são a radiação, o déficit de pressão de vapor (DPV) e o vento. O sombreamento dos sistemas agroecológicos alterou todos esses fatores (Figura 4; c,d,e). No sistema I a presença das árvores reduziu a radiação média anual em 76,51 %, enquanto no sistema II a redução foi de 56,11 %. Uma vez que as espécies desses sistemas não são decíduas, as podas de manejo no sistema II foram o principal fator de redução de cobertura e aumento relativo de radiação no estrato arbustivo no início da estação chuvosa de 2009. O DPV reflete a disponibilidade de radiação direta e indiretamente. Diretamente, a radiação aquece a água, colocando-a na forma de vapor. As temperaturas máximas e médias nas áreas sombreadas são menores do que nas áreas não sombreadas. Indiretamente, maiores temperaturas elevam o potencial de acúmulo de vapor de água na atmosfera, favorecendo a transformação da radiação em calor latente. Portanto, o aumento da

temperatura resulta tanto no aumento da quantidade de água que pode evaporar quanto na possibilidade da atmosfera acomodar o vapor d água. O DPV médio das áreas sombreadas dos sistemas I e II é mais baixo do que o das áreas não sombreadas (Figura 4; e). A temperatura média do mês de setembro/09 no sistema I foi elevada e determinou a elevação do DPV. O mês de dezembro/09 foi chuvoso e nublado, resultando em menor incidência de radiação, menor temperatura e maior umidade no sistema. Essas três condições ocasionaram a redução do DPV. Situações similares ocorreram nos meses de outubro e março. Nos meses de janeiro/10 e fevereiro/10 a combinação de baixa pluviosidade e elevada temperatura promoveram o aumento do DPV. Nos demais meses a baixa temperatura conduz a redução do índice de deficiência de água na atmosfera.

Os valores médios da velocidade do vento (Figura 4; d) foram muito distintos tanto entre os sistemas quanto na proporção entre os níveis de sombreamento para os dois sistemas. Essas diferenças podem ser compreendidas a partir da posição no relevo. O sistema I ocupa o terço inferior de encosta convexa com grande desnível local. Isso proporciona proteção da área contra os movimentos de grandes massas de ar. O sistema II está localizado em terço médio de encosta convexa, exposto tanto aos movimentos convectivos de um grande vale que se estende à frente quanto ao ar descendente da encosta com grande desnível acima sem obstáculos de relevo. As copas das árvores do sistema I formam dossel contínuo, apresentando grande rugosidade sem aberturas para o percurso livre do ar. As árvores do sistema II têm hábito mais ereto e copas isoladas, proporcionando espaços abertos para a passagem do ar.

A ET_0 , calculada segundo Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) média do sistema I é mais baixa do que a do sistema II (Figura 4; f) para todos os meses do período. A proporção da ET_0 entre os dois níveis de sombreamento também é menor no sistema I. A cobertura mais densa das copas das árvores do SAF_I contribuiu para reprimir a ET_0 .

Considerando que os sensores inseridos no solo do sistema agroecológico I, SAF_I e SPS_I , podem receber água subterrânea influenciada por diferentes posições de relevo (Figura 4), a discussão dos dados de umidade do solo será feita apenas para os dados obtidos no sistema agroecológico II em duas etapas. A primeira avaliará o volume total de água até 1,6 m e a segunda os volumes por camadas. Os volumes totais de água no solo (Figura 5; a) do SAF_{II} foram sempre menores do que os do SPS_{II} . Nos meses de recarga da umidade do solo, entre agosto e dezembro, os volumes se aproximaram

lentamente e as curvas de recarga e depleção se assemelham, indicando que o consumo total de água pode ser similar. Entre dezembro e fevereiro os volumes de água das áreas se aproximam nos períodos de grande pluviosidade e distanciam nos intervalos. Os meses de janeiro e fevereiro foram particularmente com menor precipitação. No mês de março ocorre uma inflexão no comportamento do volume de água das áreas. O SAF_{II} mantém a tendência de queda e o SPS_{II} inverte a tendência. Os volumes das duas áreas se distanciam. Essa inversão representa uma inversão de comportamento entre os dois manejos, pois o mês de março teve chuvas intensas e bem distribuídas. Entre abril e maio as curvas voltam a ser paralelas. Depois de encerradas as chuvas em maio, as taxas de depleção do SAF_{II} reduzem e as taxas do SPS_{II} se mantêm, aproximando progressivamente os volumes de água.

A interceptação das chuvas pelo dossel explica em parte a diferença do volume total de água entre as áreas (Figura 4; a). Entretanto, se a taxa de depleção fosse similar ao longo de todo o ano, a partir de dezembro as curvas deveriam assumir simetria até o final do período chuvoso, o que não ocorre, pois as curvas divergem durante o mês de março. Até dezembro a evapotranspiração dos sistemas é limitada pela disponibilidade de água no solo, pois o índice de capacidade de água disponível (ICAD) encontra-se abaixo de 1,0 (Figura 5; b), quando o teor de água no solo está abaixo da capacidade de campo. Entre dezembro e início de janeiro o ICAD é maior do que 1,0 para ambas as áreas e a demanda evaporativa da atmosfera reduziu, pois a temperatura e a radiação diminuíram, acompanhadas do DPV (Figura 4; b,c,e). Nesse período as curvas de depleção são muito inclinadas, indicando perdas rápidas de água. Considerando que o teor de água no solo está acima da capacidade de campo ($ICAD > 1,0$) e que a demanda atmosférica reduziu, essas perdas podem ser imputadas à drenagem profunda. Durante os meses de janeiro e fevereiro as chuvas reduziram, a radiação e as temperaturas subiram e, conseqüentemente, o DPV aumentou, favorecendo a retirada de água do solo. Nesses dois meses ocorreu também que o ICAD do SAF_{II} suplantou o do SPS_{II} (Figura 5; b). Ou seja, apesar do volume total de água do SAF_{II} ser menor do que o do SPS_{II}, a água disponível no solo é maior e pode responder à demanda da atmosfera. No início do mês de março tanto o volume total quanto o ICAD das áreas invertem. Nesse mês, a demanda evaporativa da atmosfera reduziu e as chuvas foram intensas e regulares (Figura 4; a,e,f). Portanto, a cultura do café do SPS_{II} não transpirou o suficiente para depletar o solo e os volumes de água subiram. De modo inverso, considerando que a infiltração profunda não deve ter ocorrido ($ICAD-SAF_{II} < 1,0$), a taxa de transpiração

em relação à demanda atmosférica do SAF_{II} foi maior do que a do SPS_{II}. Dessa forma, o SAF_{II} teria utilizado intensamente a água disponível e reduzido os teores no solo. Entre abril e o início de junho tanto as chuvas quanto a demanda atmosférica reduzem, refletindo na queda gradual da umidade do solo. De junho em diante, à medida que a estação seca avança, a evapotranspiração passa a ser limitada não somente pela menor demanda atmosférica como também pela redução da disponibilidade de água no solo.

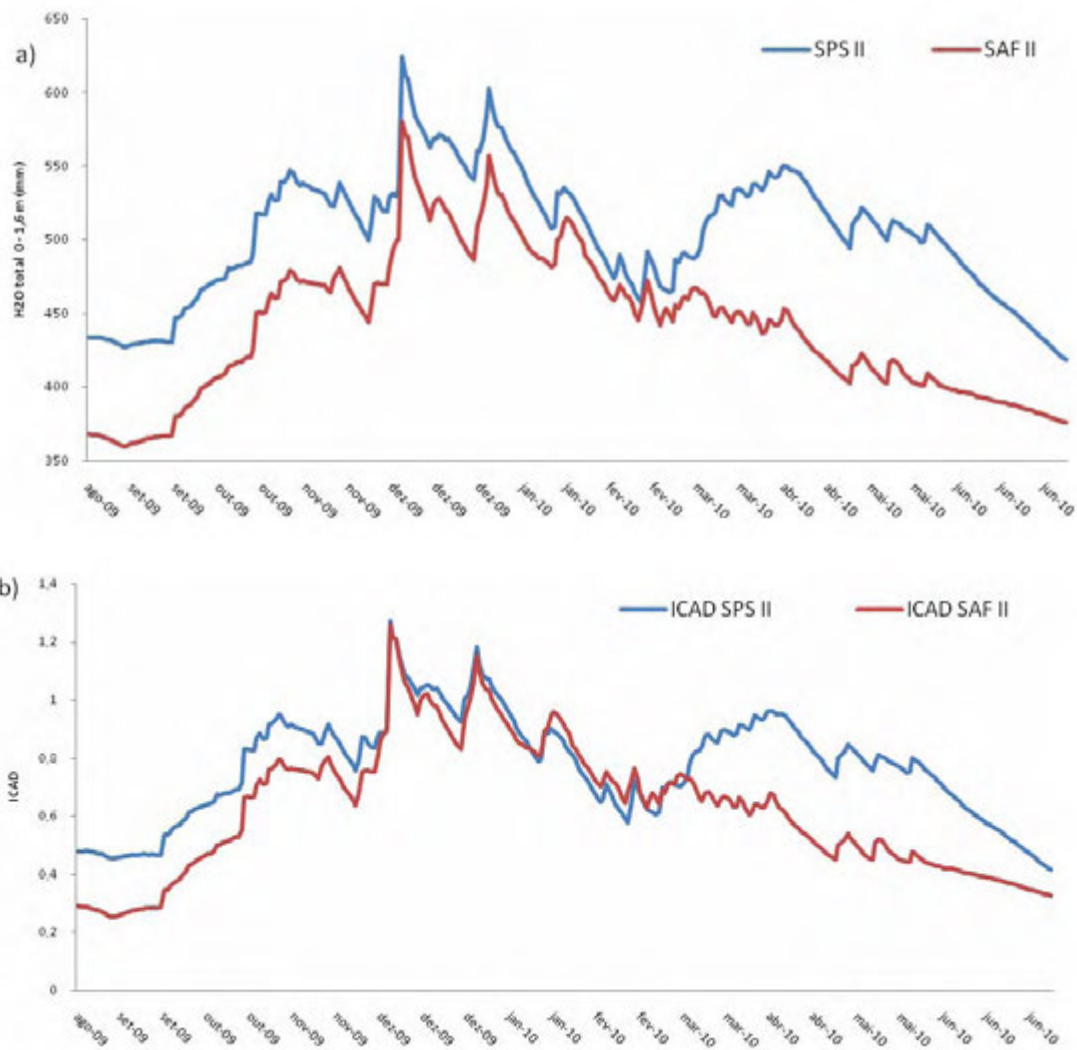


Figura 5. Volume de água (a) e índice de capacidade de água disponível – ICAD - (b) no perfil do solo entre 0,0 e 1,6 m, sob cultura de café em sistema agroecológico, sob manejo agroflorestal (SAF_{II}) e pleno sol (SPS_{II}), no município de Araponga, MG.

O ICAD calculado para cada camada de solo (Figura 6; a,b,c) mostra grandes diferenças quanto à disponibilidade de água entre as camadas ao longo do ano, para as áreas, SPS_{II} e SAF_{II}. O ICAD da primeira camada de solo (0,0–0,2 m) de ambas as áreas apresenta valores menores do que zero em muitos momentos ao longo do período avaliado, indicando que o teor de água atinge níveis menores do que o ponto de murcha permanente. O ICAD do SPS_{II} é geralmente um pouco maior do que o do SAF_{II}. Parece que tanto a cobertura das árvores do SAF_{II} quanto a presença das plantas espontâneas do SPS_{II} cumprem papéis similares no cômputo da evaporação e da transpiração. A umidade da camada superficial do SAF_{II} suplanta a do SPS_{II} logo no início do período avaliado, em alguns intervalos mais secos durante a estação chuvosa (e.g. em fevereiro) e no mês de junho. Entretanto, as diferenças de umidade nessa camada são pequenas nos períodos chuvosos e a água disponível alcança níveis que facilitam o crescimento das raízes superficiais das plantas a partir de meados de novembro. Esse período coincide com o relato dos agricultores sobre a necessidade de capinas das plantas espontâneas que dependem de raízes mais rasas e têm rápido crescimento. A fertilidade natural dos LATOSSOLOS é maior no horizonte superficial. Além disso, o manejo da fertilidade com o aporte de nutrientes via reciclagem pelas plantas ou adubação é mais viável nas camadas superficiais. Considerando que a absorção de nutrientes depende da presença de água no solo, percebe-se que o período de acesso à fertilidade na camada superficial em ambas as áreas fica limitado à estação chuvosa.

A curva do ICAD de ambas as áreas é bastante similar na segunda camada de solo (0,2 a 0,4 m). Entretanto, existe uma diferença nas fases úmidas e secas. Nas fases secas o ICAD do SAF_{II} atinge valores abaixo de zero durante mais tempo e com mais intensidade do que na primeira camada. Esse comportamento é mais pronunciado a partir de abril, quando a umidade na camada superficial ainda se mantém razoavelmente alta. Isso parece indicar que as plantas do SAF_{II} possuem raízes ativas nessa camada nesses períodos de transição entre úmido e seco. Durante o período úmido, entre setembro e abril os teores de água na segunda camada se mantêm um pouco abaixo dos teores da primeira camada. Isso parece indicar que o suprimento de água das chuvas nos eventos pluviais e o contato com a camada mais úmida abaixo garantem a presença de água na segunda camada.

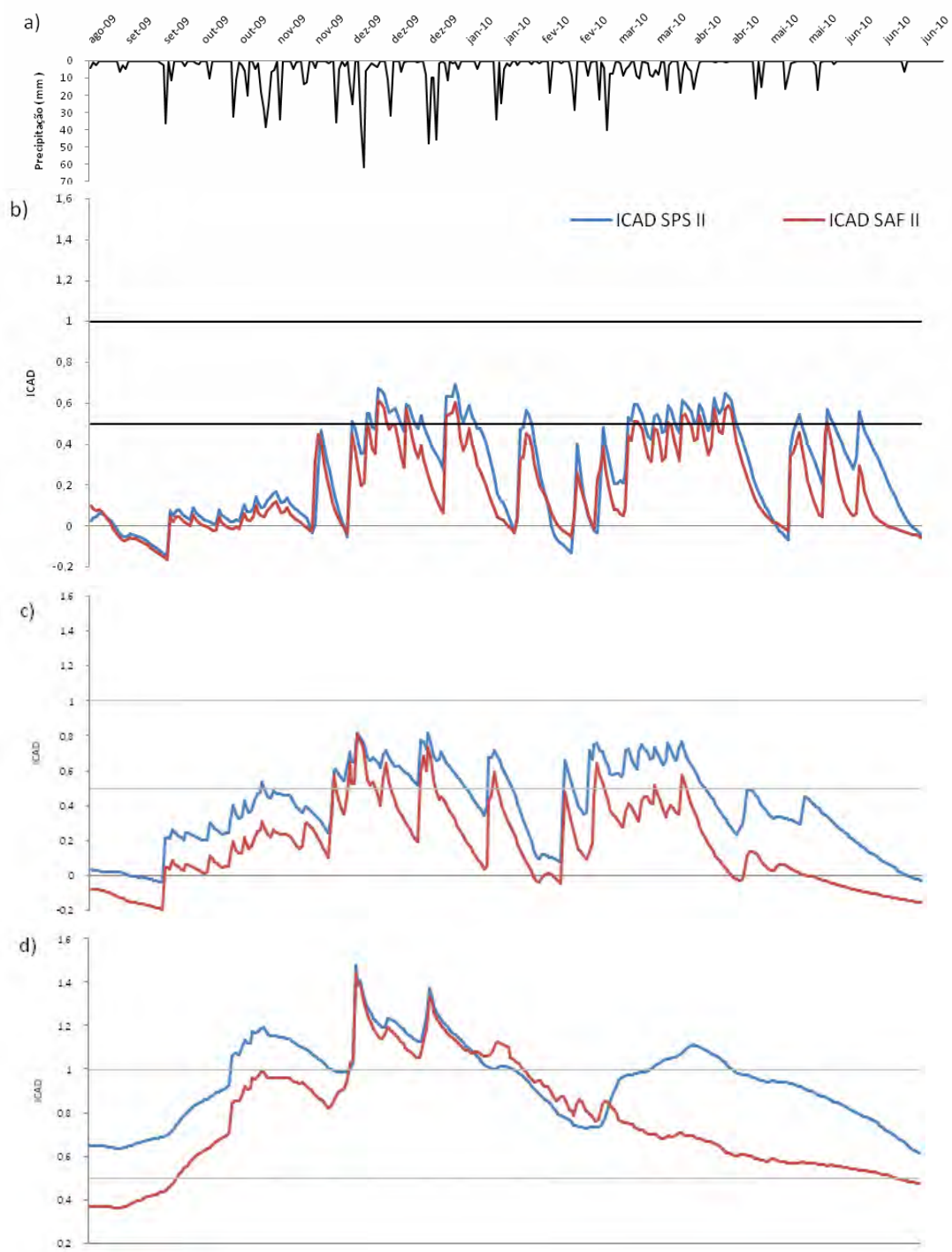


Figura 6. Precipitação total (a) e índice de capacidade de água disponível – ICAD -nas camadas I- 0,0 a 0,2 m (b); II- 0,2 a 0,4 m (c) e III- 0,4 a 1,6 m (d) no perfil do solo sob cultura de café em sistema agroecológico, sob manejo agroflorestal (SAF_{II}) e pleno sol (SPS_{II}), no município de Araponga, MG.

A declividade das curvas de ICAD logo após os eventos pluviais na primeira e na segunda camada tem duas fases. Uma fase com alta declividade, imediatamente após o evento e outra mais suave, tendendo à linearidade. Esse efeito é mais pronunciado na

segunda camada do que na primeira. Ainda que a curva de ICAD seja uma totalização diária que dilui o efeito da infiltração rápida logo após o evento, nos dias de alta pluviosidade é possível identificar esse comportamento. Esse efeito será discutido mais detalhadamente com dados horários mais à frente. A declividade da curva do ICAD do SAF_{II} na segunda camada é similar à do SPS_{II} logo após os eventos pluviais do início da estação chuvosa. Entretanto, à medida que as chuvas se intensificam a declividade da curva do SAF_{II} aumenta em relação à do SPS_{II} (e.g. em dezembro e em fevereiro). Considerando que o teor de água não ultrapassa a capacidade de campo (ICAD > 1,0) na fase mais linear após o evento, parece que a absorção de água pelas raízes na segunda camada é mais intensa no SAF_{II} do que no SPS_{II}. Esse comportamento coincide com o aumento da demanda atmosférica de transpiração.

As curvas de ICAD das duas áreas na terceira camada (Figura 6; c) representam o maior volume de solo do perfil em estudo (0,4–1,6 m), por isso essas curvas são muito similares às do conteúdo total de água já discutido. Elas podem ser divididas em 4 fases. Na primeira fase são paralelas e refletem a recarga de água pelas chuvas iniciais. No ápice do período chuvoso elas alcançam valores muito próximos e acima de 1,0, portanto possuem água acima da capacidade de campo, passíveis de drenagem para camadas mais profundas. Nesses momentos pode ocorrer a recarga do lençol freático. Nos meses de janeiro e fevereiro, quando ocorreu redução da precipitação, o ICAD do SPS_{II} reduziu progressivamente sem alterações bruscas. Nesses meses as raízes mais superficiais do sistema agroecológico com café têm água disponível (Figura 6; a). Portanto, não seria necessário absorver água de camadas mais profundas. O comportamento da curva do SAF_{II} foi distinto e apresentou recargas e depleções sucessivas. Considerando que essas variações ocorreram com ICAD abaixo de 1,0, podemos inferir que parte significativa da redução foi devida à absorção pelas raízes presentes nessa camada. Durante o mês de março e início de abril o ritmo de absorção de água no SAF_{II} permanece alto e suficiente para suplantar a recarga de água das chuvas. De modo inverso, o teor de água da terceira camada do SPS_{II} se eleva acima do ICAD = 1,0. A partir do final de abril ambas as curvas mantêm tendência de queda. No SAF_{II} a tendência é linear e no SPS_{II} a tendência acentua à medida que a estação seca se impõe. Nesse caso a redução da água disponível nas camadas mais superficiais pode levar as plantas a absorver água com mais intensidade a partir das raízes mais profundas. Essa

constatação permite supor que parte das raízes do café pode ocupar a terceira camada de solo.

Costa (2006) assume que o limite mínimo de umidade para evitar o estresse hídrico da cultura do café arábica corresponde à metade do intervalo de água disponível no solo. Dessa forma, o ICAD igual a 0,5 foi tomado como parâmetro de referência para o limite de crescimento da cultura. Considerando que a água disponível no solo em ambas as áreas foi maior do que 0,5 ICAD na maior parte da estação de crescimento da cultura do café (setembro a maio), em ambas as áreas nas três camadas, é possível supor que a presença das árvores no SAF_{II} não limitou a disponibilidade de água para a cultura do café. A redução do ICAD para valores menores do que 0,5 no início da estação seca coincide com o período em que o estresse hídrico é importante para a maturação das gemas florais do café. Portanto, o uso da água pelo conjunto das árvores e café foi complementar ao longo do ano.

Cannavo *et al.* (2011) avaliaram variáveis micrometeorológicas e o balanço hídrico no solo em cultura de café sob monocultivo e SAF coberto com *Inga densiflora* Benth na Costa Rica. Apesar do café em monocultivo transpirar entre 20-45 % mais do que o café sombreado, a transpiração total anual do sistema sombreado foi entre 10-30 % maior do que a do monocultivo. A maior transpiração do sistema sombreado reduziu a drenagem profunda em relação ao monocultivo. Os autores concluíram que o uso da água das chuvas pelo sistema foi maior no SAF (40-45 %) do que no monocultivo (30-35 %). Além disso, ressaltaram que as árvores do SAF absorveram água preferencialmente de camadas mais profundas, indicando que, em lugar de competição, houve complementaridade de uso da água disponível entre o café e o estrato arbóreo. Esses autores prevêm que a competição por água entre o café e o ingá poderia ocorrer se o período de seca prolongar por 4 a 6 semanas a mais do que os 4 meses que normalmente ocorrem na região. Situação similar pode ocorrer no sistema agroecológico II em estudo, quando são verificadas secas prolongadas pelos meses de setembro e início de outubro, que promoveria o atraso do início da estação de crescimento do café e o abortamento das floradas comuns ao longo do mês de agosto. Entretanto, o aumento da demanda atmosférica de transpiração ocorrida no mês de setembro (Figura 4; e,f) não foi acompanhado por maior taxa de depleção no solo. O aumento de transpiração parece

aguardar o início da estação chuvosa, como indicado pelo aumento do índice de área foliar e pelos teores de umidade no solo. Portanto, mesmo sob condições de seca prolongada, ainda existe água na maior profundidade com ICAD em torno de 0,5, suficiente para a manutenção da cultura do café até o início da estação chuvosa.

Um SAF composto de cacau (*Theobroma cacao* L.) e glirícidia (*Gliricidia sepium* Jacq.) descrito por Köler *et al.* (2010) na Indonésia apresentou comportamento similar ao estudado por Cannavo *et al.* (2011). Nos períodos úmidos não houve limitação de umidade no solo para o crescimento de ambas as espécies e nos períodos secos o cacau se beneficiou de água disponível nas menores profundidades, enquanto a glirícidia reduziu a transpiração e utilizou água de camadas mais profundas.

A eficiência do uso da água em sistemas pode ser avaliada conhecendo a transpiração, que em última análise indica a conversão em biomassa, e a infiltração profunda, que abastece o lençol freático. Antes de considerá-los como vetores antagônicos, uma vez que maior transpiração implica em menor infiltração, do ponto de vista da qualidade do ambiente, ambos são essenciais para a manutenção de sistemas em equilíbrio. Portanto, estimar a transpiração e a infiltração contribui para melhor conhecer os sistemas agroecológicos. O balanço hídrico do solo pode contribuir para estimar a evapotranspiração e a infiltração profunda.

Os balanços hídricos genericamente computam entradas e saídas nos sistemas. A principal entrada em sistemas manejados por agricultores familiares é a precipitação pluvial. Dentre as formas de saída dos sistemas destacam-se o escoamento superficial, a evapotranspiração e a drenagem profunda. Estudos feitos no sistema I (Franco *et al.*, 2002) demonstram que os sistemas agroecológicos implantados na Zona da Mata não apresentam escoamento superficial significativo, podendo ser negligenciados.

A obtenção da estimativa da infiltração profunda apresenta dificuldades tanto por métodos diretos quanto indiretos (Barreto *et al.*, 2009). O método indireto utilizado nesse estudo levanta dados em intervalos regulares horários que permitem conhecer a tendência da umidade no solo. Entretanto, não quantifica o volume real que passa pelos sensores no intervalo de tempo entre a tomada dos dados. Assim, se um evento pluvial ocorre no primeiro minuto logo após o registro da umidade, parte da água precipitada desce para camadas mais profundas e, no momento em que a próxima leitura é realizada,

o teor de umidade não computa integralmente o fluxo percolado. Esse efeito é maior em solos com elevada velocidade de infiltração, como os solos do SPS_{II} e SAF_{II}, cuja condutividade hidráulica saturada é alta (Quadro 1). Para acompanhar esse fenômeno, tomemos como exemplo a precipitação total e a quantidade total de água no perfil do solo até a profundidade de 1,0 m do SAF_{II}, durante o período de 27/12/09 e 02/01/10 em base horária (Figura 7). Durante os dias 26 e 27/12/09 a umidade no solo decresce regularmente, mesmo diante de chuvas com pouco volume. O primeiro conjunto de precipitações significativas (Figura 7; a) eleva a umidade para acima da capacidade de campo (Figura 7; b) e o decréscimo que segue é suave e alimentado por chuvas regulares. O segundo conjunto de precipitações ocorrido em 28/12/09 é concentrado e intenso. A umidade sobe rapidamente e cai imediatamente após, sugerindo perda de água. Esse comportamento é explicável, pois a condutividade hidráulica saturada desse solo é alta. No dia 29/12 ocorre uma queda suave, mesmo com a interrupção da precipitação. A sequência de chuvas entre os dias 29/02 e 01/01/10 mantém a umidade acima da capacidade de campo. Entretanto, se a capacidade de campo funcionasse como nível crítico para a manutenção da água no sistema, o conteúdo de água deveria acompanhar as curvas de depleção rápida após chuvas intensas até atingi-la. Entre os dias 01 e 03/01/10 a umidade decresce lentamente até atingir a capacidade de campo. O mesmo fenômeno ocorre em sequências com a umidade abaixo da capacidade de campo para chuvas intensas. Ou seja, em eventos muito intensos o comportamento da umidade total do solo sugere a possibilidade de haver percolação profunda mesmo com a umidade abaixo da capacidade de campo. De modo inverso, a infiltração profunda parece não ocorrer sob chuvas pouco intensas, mesmo com o teor de umidade acima da capacidade de campo.

Além da dificuldade de estimar a infiltração profunda, a variação rápida da umidade no solo dificulta também a estimativa da evapotranspiração em métodos pelo balanço hídrico do solo. Nesses métodos, a estimativa da evapotranspiração é feita pelas diferenças de umidade inicial e final no solo em intervalos regulares, procurando identificar as taxas de depleção. Entretanto, a impossibilidade de acompanhar a frente de molhamento em detalhe em todo o perfil resulta em períodos frequentes em que a umidade do momento em questão é maior do que a anterior. Ocorre com frequência a

situação inversa, em que a umidade do momento em questão é menor do que a do anterior, mesmo tendo havido precipitação que justificaria aumento de água no perfil.

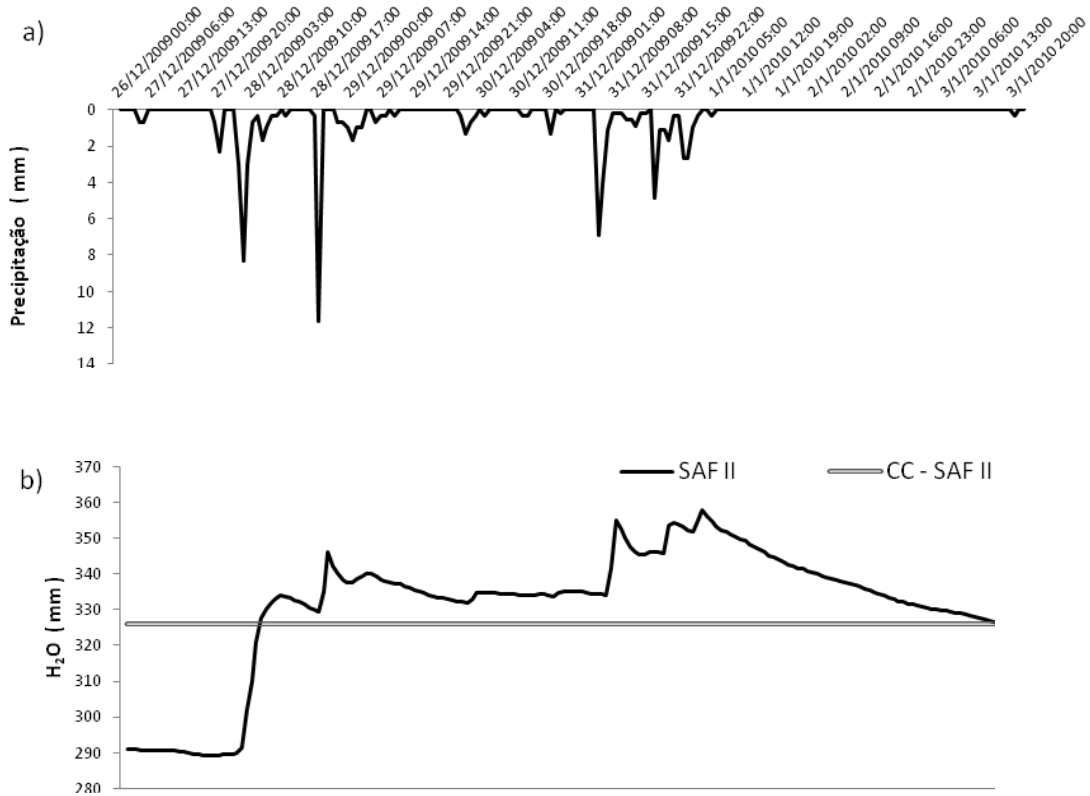


Figura 7. Precipitação total (a); lâmina total de água até 1,6 m (b) e capacidade de campo (CC) do solo sob cultura de café em sistema agroecológico em manejo agroflorestal (SAF_{II}) no município de Araponga, MG.

A Figura 8 registra os valores horários acumulados da precipitação total medida e efetiva calculada, bem como a drenagem e ETr diária calculadas pelo balanço hídrico do solo das áreas SPS_{II} e SAF_{II}. As curvas de ETr e drenagem mostram sucessivos momentos em que o valor acumulado decresce. Esses momentos de decréscimo registram os recuos da umidade do solo mesmo tendo ocorrido precipitação que justificasse mais água armazenada. A totalização em base diária corrige em parte essa dificuldade no balanço, entretanto, não elimina a incerteza da estimativa da drenagem versus evapotranspiração nas sequências em que há elevação e recuo na umidade do solo e a possibilidade de drenagem em chuvas intensas com umidade abaixo da capacidade de campo. O método automático de medida de umidade do solo deve reduzir o tempo entre

leituras ou ser configurado para registrar os valores máximos e mínimos de cada intervalo, a fim de identificar variações rápidas de umidade em solos com alta velocidade de infiltração.

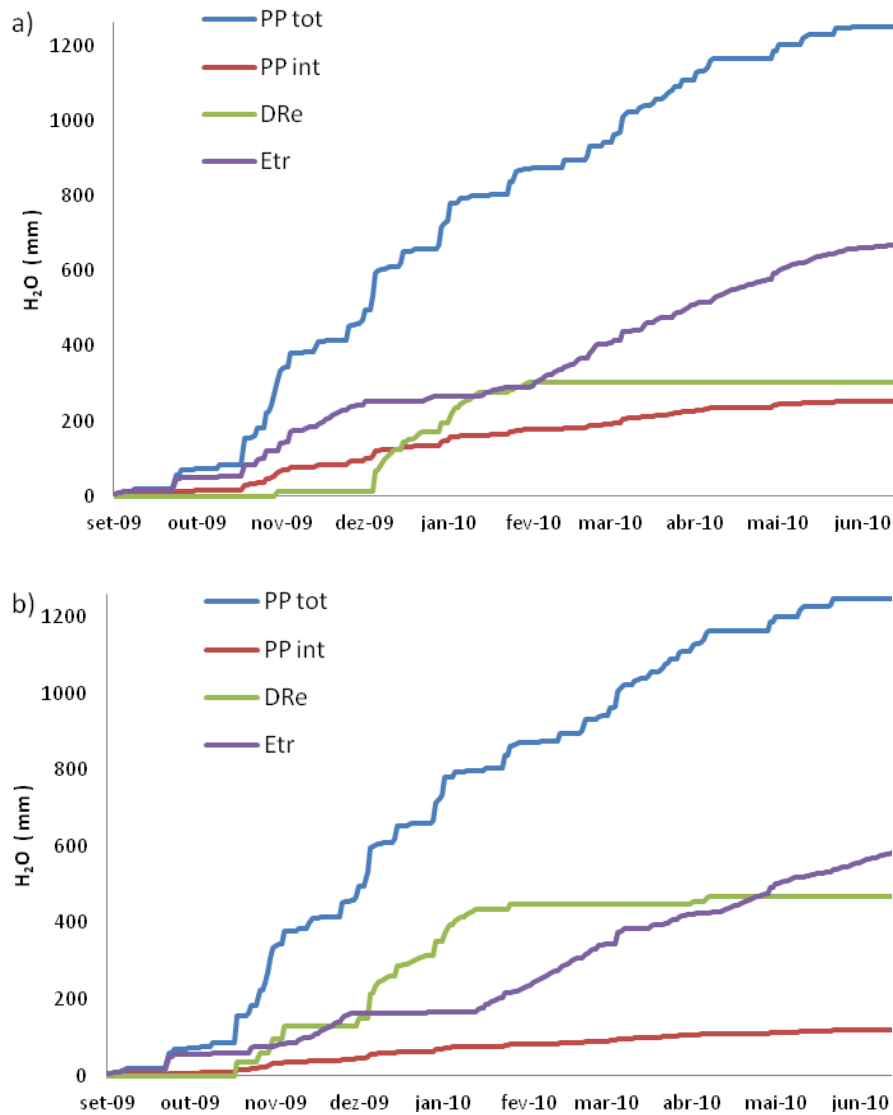


Figura 8. Precipitação total (PP tot), precipitação interceptada (PP int.), drenagem abaixo de 1,6 m do solo (DRe) evapotranspiração real (ETr) sob cultura de café em sistema agroecológico, sob manejo agroflorestal (a) e a pleno sol (b), no município de Araponga, MG.

Uma das maneiras de contornar as dificuldades de estimar a infiltração profunda e a evapotranspiração pelo balanço hídrico do solo é a totalização dos dados pontuais em períodos mais longos e a integralização dos dados dos diversos estratos de um todo. O método utilizado nesse estudo totalizou os dados horários em base diária e

posteriormente em base mensal, além de integrar os dados das 3 camadas de solo em um total no perfil. O balanço hídrico do solo do SPS_{II} e SAF_{II} (Figura 9) expressa as tendências de variação do volume de entrada e saída de água do sistema que foram anunciadas no comportamento da umidade do solo discutidas com os dados apresentados na Figura 5.

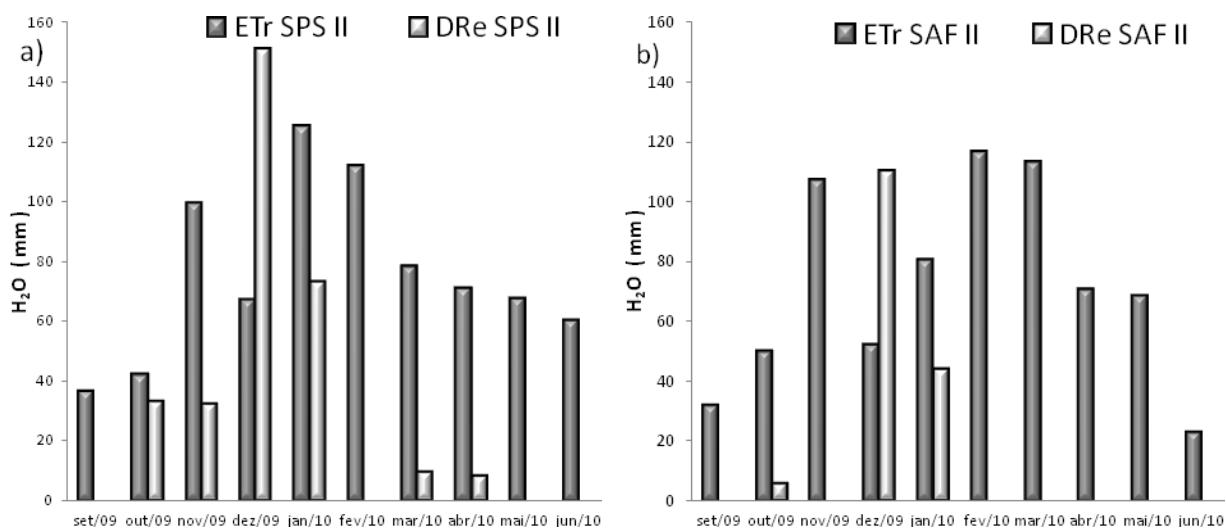


Figura 9. Evapotranspiração real – ETr - e drenagem – DRe - (obtidos por balanço hídrico do solo) do sistema agroecológico II com café, sob pleno sol (SPS_{II}): a) e manejo agroflorestal (SAF_{II}): b), no município de Araponga, MG.

De modo geral, o balanço hídrico reflete o total de precipitação que efetivamente chega ao solo depois da interceptação das copas, tanto das plantas de café no SPS_{II} quanto pelas das árvores mais o café no SAF_{II}. Assim, o balanço recupera 1068,1 mm no SPS_{II} e 874,3 mm no SAF_{II} (Quadro 3). A diferença mais marcante entre as áreas é a partição entre a evapotranspiração e a drenagem. A estimativa do volume total de drenagem do SPS_{II} é maior do que a do SAF_{II}, tanto no valor total quanto na proporção ao evapotranspirado. A drenagem ocorre com mais frequência e melhor distribuída no SPS_{II} e concentrada no auge da estação chuvosa no SAF_{II}. A evolução do processo de evapotranspiração ao longo do ano do SPS_{II} acompanha os fatores determinantes da retirada de água do sistema, a demanda atmosférica, a disponibilidade de água no solo e o enfolhamento das plantas, uma vez que as plantas respondem a essas condições com a queda das folhas para reduzir a transpiração. No início da estação, apesar da demanda atmosférica dos meses de setembro e outubro terem sido altas (Figura 4: e,f) a disponibilidade de água no solo era limitante (Figura 5: b). Entre outubro e março a disponibilidade de água foi alta, entretanto, a demanda atmosférica variou em função da

radiação que atingiu as áreas e da temperatura do ar. A redução da ETr foi marcante no mês de dezembro em ambas as áreas. A ETr do mês de janeiro do SAF_{II} não parece ter refletido as condições de umidade disponível e a demanda atmosférica, pois a presença das árvores com folhas distendidas e em processo de crescimento continuam contribuindo para a transpiração. Além disso, as taxas de depleção de umidade no solo nesse mês (Figuras 5 e 6) também indicam ETr do SAF_{II} similar à do SPS_{II}. A ETr do SAF_{II} nos meses de março a maio é mais alta do que a do SPS_{II} e encontra respaldo nas taxas de redução da umidade do solo.

A Figura 10 apresenta a marcha mensal da ET₀ diária calculada pelo método de Penman-Monteith comparada com a estimativa da ETr calculada pelo balanço hídrico do solo para o SPS_{II}. A ETr total do SPS_{II} foi de 760,6 mm (Quadro 3), enquanto que a ET₀ foi de 886,67. Uma situação contrastante no nível da ETr ocorre entre o mês de outubro/09 e o conjunto dos meses de abril e maio/10. A disponibilidade de umidade no solo é similar em ambos os períodos, enquanto a demanda atmosférica é muito maior em outubro. No entanto, a ETr é maior nos meses de abril e maio tanto no SPS_{II} quanto no SAF_{II} (Figura 9). A evolução do IAF (Quadro 1) ao longo do ano indica uma tendência ao aumento da superfície transpirante das árvores no SAF_I e no SAF_{II}, desde o início do período seco até o final do período chuvoso. Esse fato indica que, apesar da demanda de transpiração ser alta no mês de outubro, o conjunto das plantas estaria recompondo a área foliar no início da estação de crescimento. Fenômeno inverso estaria ocorrendo nos meses de abril e maio, quando a demanda atmosférica reduz progressivamente, mas a área foliar ainda é grande e está ativa. A previsão da ETr pode ser feita por meio do coeficiente K_c para corrigir a ET₀ determinada pelo método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998). Entretanto, esse comportamento exige a utilização de coeficientes K_c que reflitam a fase estacional das plantas do sistema. O coeficiente K_s utilizado para corrigir a ET₀ a partir da disponibilidade de água no solo (Bernardo, 2005) considera apenas o teor relativo de água entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Portanto, não supõe a influência da fase estacional das plantas. A literatura não disponibiliza os coeficientes K_c e K_s de formações vegetais que contemplem espécies nativas da Mata Atlântica para essas situações.

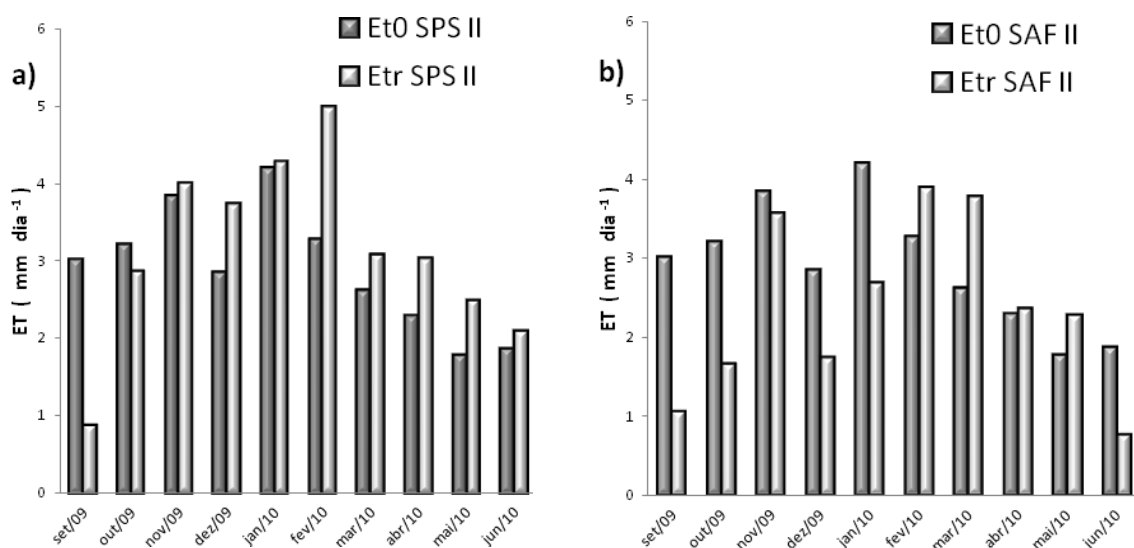


Figura 10. Evapotranspiração de referência - ET_0 - (obtida por Penman-Montieth) e evapotranspiração real - E_{Tr} - (obtida por balanço hídrico do solo) do sistema agroecológico II com café, sob pleno sol (SPS_{II}): a) e manejo agroflorestal (SAF_{II}): b), no município de Araponga, MG.

Quadro 3. Precipitação total (PPt), precipitação efetiva (PPef.), evapotranspiração real (E_{Tr}) e drenagem abaixo de 1,6 m do solo (DRE) de sistema agroecológico com café, sob manejo agroflorestal (SAF_{II}) e pleno sol (SPS_{II}), no município de Araponga, MG.

	PPt	PPef.	E_{Tr}	Dre	PPef.	E_{Tr}	Dre
mm							
	SPS_{II}				SAF_{II}		
set/09	66,6	60,3	36,9	0,0	53,1	31,8	0,0
out/09	205,9	186,3	42,4	33,1	164,0	50,0	5,9
nov/09	155,5	140,7	99,5	32,5	123,8	107,1	0,0
dez/09	284,1	257,2	67,2	151,0	226,3	52,2	110,3
jan/10	92,9	84,1	125,1	73,1	74,0	80,7	44,1
fev/10	68,0	61,5	111,8	0,0	54,1	116,7	0,0
mar/10	186,3	168,6	78,6	9,7	148,4	113,4	0,0
abr/10	74,6	67,5	71,0	8,3	59,4	70,7	0,0
mai/10	47,3	42,8	67,7	0,0	37,7	68,5	0,0
jun/10	6,0	5,4	60,5	0,0	4,8	23,0	0,0
Total	1187,2	1074,4	760,6	307,5	945,5	714,0	160,3

Considerações finais

A presença das árvores nas áreas sombreadas de ambos os sistemas reduziram a precipitação efetiva, radiação total, velocidade do vento, déficit de pressão de vapor e evapotranspiração de referência. O sombreamento reduziu as temperaturas máximas dos sistemas. As temperaturas mínimas das áreas sombreadas foram maiores do que as não sombreadas. O balanço hídrico do solo indicou que os sistemas sombreados reduzem a infiltração profunda do solo e aumentam o uso da água no sistema. O conjunto das plantas dos estratos arbóreo e arbustivo do café utilizou a água das chuvas de forma complementar ao longo do período. Os sistemas sombreados aumentaram o uso da radiação incidente.

Referências bibliográficas

- Aguiar, M. I. Qualidade Física dos Solos em Sistemas Agroflorestais. DPS, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008. 79 p.
- Aguiar, M. I. Qualidade Física dos Solos em Sistemas Agroflorestais. DPS, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008. 79 p.
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D; Smith, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements FAO irrigation and drainage paper 56. FAO. Rome, Italy, p.300. 1998
- Barreto, C. E. A. G.; Wendland, E.; Marcuzzo, F. F. N. Estimativa da evapotranspiração a partir de variação de nível estático de aquífero. Eng. Agríc., v.29, n.1, p.52-61. 2009.
- Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. Viçosa: Ed. UFV. 2005
- Bruijnzeel, L. A. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? Agriculture, Ecosystems & Environment: Environmental Services and Land Use Change: Bridging the Gap between Policy and Research in Southeast Asia, v.104, n.1, 2004/9//, p.185-228. 2004.
- Campoe, O. C. Efeito de práticas silviculturais sobre a produtividade primária líquida de madeira, o índice de área foliar e a eficiência do uso da luz em plantios de restauração da Mata Atlântica. (MS). ESALQ-USP, Piracicaba, 2008. 121 p.
- Cannavo, P.; Sansoulet, J.; Harmand, J. M.; Siles, P.; Dreyer, E.; Vaast, P. Agroforestry associating coffee and *Inga densiflora* results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in Costa Rica. Agriculture, Ecosystems & Environment, v.140, n.1-2, 2011/1/30/, p.1-13. 2011.
- Cardoso, I. M.; Guijt, I.; Franco, F. S.; Carvalho, A. F.; Ferreira Neto, P. S. Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. Agricultural Systems, v.69, p.235-257. 2000.
- Cardoso, I. M.; Ferrari, E. A. Construindo o conhecimento agroecológico: trajetória de interação entre ONG, universidade e organizações de agricultores. Agriculturas: 28-32 p.<http://agriculturas.leisa.info> 2006.
- Cardoso, I. M.; Duarte, E. M. G.; e Paula de Souza, M. E.; Carneiro, J. J.; Meier, M.; Fernandes, J. M.; Siqueira, L. C.; Garcia, F. C. P. Agrobiodiversidade em sistemas de produção agroecológica. In: L. C. E. A. Ming (Ed.). Agrobiodiversidade no Brasil: experiência e caminhos da pesquisa. Recife: NUPEEA, 2010. Agrobiodiversidade em sistemas de produção agroecológica, p.75-94
- Carvalho, A. F.; Ferreira Neto, P. S. Evolving Learning in Designing Agroecological Farming Systems With Small-Scale Farmers in Zona Da Mata, Brazil. Deepening the basis of rural resource management: Workshop proceedings. The Hague: ISNAR, 2000. 73 - 88 p.
- Chappell, N. A.; Tych, W.; Bonell, M. Development of the for SIM model to quantify positive and negative hydrological impacts of tropical reforestation. Forest Ecology and Management: Planted Forests and Water, v.251, n.1-2, 2007/10/30/, p.52-64. 2007.
- Conway, G. The doubly Green Revolution: Food for All in the Twenty-First Century. London: Penguin Books. 1997. 335 p.

- Costa, M. B. Avaliação da irrigação por pivô central na cultura do café (*Coffea canephora* L.) e na cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no município de Pinheiros - ES. ESALQ. Piracicaba, p.88. 2006
- Craswell, E. T.; Sajjapongse, A.; Howlett, D. J. B.; Dowling, A. J. Agroforestry in the management of sloping lands in Asia and the Pacific. *Agroforestry Systems*, v.38, n.1-3, p.121-137. 1998.
- DaMatta, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*, v.86, n.2-3, 2004/3/10/, p.99-114. 2004.
- Duarte, E .M. G. Ciclagem de nutrientes por árvores em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica. (MS). DPS, UFV, Viçosa, 2007. 132 p.
- Ellis, T.; Hatton, T.; Nuberg, I. An ecological optimality approach for predicting deep drainage from tree belts of alley farms in water-limited environments. *Agricultural Water Management*, v.75, n.2, 2005/7/15/, p.92-116. 2005.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solos. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa do Solo. 1997. 212p p.
- EMBRAPA-CNPS. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306 p.
- Fernandes, J. M. Taxonomia e etnobotânica de Leguminosas Adams, em fragmentos florestais e sistemas agroflorestais na Zona da Mata Mineira. DBV, UFV, Viçosa, 2007. ?? p.
- Ferrari, E. A.; Almeida, S. G. Por uma nova teoria Econômica para a agricultura Ecológica. *Ação Ambiental*: 24-29 p.2005.
- Franco, F. S.; Couto, L.; Carvalho, A. F.; Jucksch, I.; Fernandes Filho, E. I.; Silva, E.; Neto, J. A. A. M. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. *Rev. Árvore*, v.26, n.6, p.751-760. 2002.
- Freitas, H. R.; Cardoso, I. M.; Jucksch, I. Boletim Informativo. RBCS. Viçosa, p.22-27. 2004. (29)
- Gomes, N. M.; De Mello, C. R.; Silva, A. M.; Beskow, S. Aplicabilidade do LISEM (Limburg soil erosion) para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica tropical. *R. Bras. Ci. Solo*, v.32, p.2483-2492. 2008.
- Harmand, J. M.; Avila, H.; Dambrine, E.; Skiba, U.; e de Miguel, S.; Renderos, R. V.; Oliver, R.; Jimenez, F.; Beer, J. Nitrogen dynamics and soil nitrate retention in a *Coffea arabica-Eucalyptus deglupta* agroforestry system in Southern Costa Rica. *Biogeochemistry*, v.85, n.2, Sep, p.125-139. 2007.
- Herzog , F. Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Côte d'Ivoire. *Agroforestry Systems*, v.27, p.259-267. 1994.
- IEF-MG. Plano de manejo do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro. SEMAD-MG. Belo Horizonte, p.99. 2007
- Köhler, M.; Schwendenmann, L.; Hölscher, D. Throughfall reduction in a cacao agroforest: tree water use and soil water budgeting. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.150, n.7-8, 2010/7/15/, p.1079-1089. 2010.
- Lemos, R. C.; Santos, R. D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Campinas: SBCS: 84p p.1996.
- Lin, B. B. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.144, n.1-2, p.85-94. 2007.

- _____. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.144, n.1-2, 2007/5/14/, p.85-94. 2010.
- Martínez, M. L.; Pérez-Maqueo, O. V.; Castillo-Campos, G.; García-Franco, G.; Mehlreter, J.; Equihua, K.; Landgrave, M.; Rosario, A. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management*, v.258, n.9, 2009/10/10/, p.1856-1863. 2009.
- Matsumoto, N. S. (org.). *Arborização de Cafezais no Brasil*. Vitória da Conquista - Bahia: UESB. 2004. 212 p.
- Mendonça, M. A. F. C. Construção e uso dos indicadores de sustentabilidade sociais e econômicos em agroecossistemas tradicionais: onde estamos? *Rev. Bras. de Agroecologia*, v.4, n.2, p.1217-1220. 2009.
- Miranda, R. A. C. *et al.* Interceptação de chuva em cafezais adensados da região serrana centro-norte fluminense. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.12, n.2. 2004.
- Myers, N.; Mittermeier, R. A.; Mittermeier, C. G.; da Fonseca, G. A. B.; Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v.403, n.6772, Feb 24, p.853-858. 2000.
- Pezzopane, J. R. M.; Pedro Júnior, M. J.; Gallo, P. B. Balanço de energia em cultivo de café a pleno sol e consorciado com banana "Prata Anã". *Rev. Bras. de Agrom.*, v.15, n.2, p.169-177. 2007.
- Raddad, E. Y.; Luukkanen, O. The influence of different *Acacia senegal* agroforestry systems on soil water and crop yields in clay soils of the Blue Nile region, Sudan. *Agricultural Water Management*, v.87, n.1, Jan 10, p.61-72. 2007.
- Rice, R. A. Agricultural intensification within agroforestry: The case of coffee and wood products. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.128, n.4, 2008/12//, p.212-218. 2008.
- Richards, L. A. *Diagnosis and improvement of saline alkali soil*. Salinity Lab. New York, p.160. 1954. (60)
- Romanoviski, Z. *Morfologia e aspectos hidrológicos da Microbacia Rua Nova, Viçosa, MG, para fins de manejo*. (MS). UFV, Viçosa, 2001. 84 p.
- Ruiz, H. A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO. Recife: SBSCS, 2005. 30 p.
- _____. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.297-300. 2005.
- Santos, D. A. Avaliação da interceptação por diferentes fragmentos florestais nativos e exóticos. IF Sul de Minas Gerais. Inconfidentes-MG, p.39. 2009
- Schleppi, P.; Conedera, M.; Sedivy, I.; Thimonier, A. Correcting non-linearity and slope effects in the estimation of the leaf area index of forests from hemispherical photographs. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.144, p.236-242. 2007.
- Sediyama, G. C.; Melo Jr., J. C. F.; Santos, A. R.; Ribeiro, A.; Costa, M. H.; Hamakaua, P. J.; Costa, J. M. N.; Costa, L. C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. *Rev. Bras. Agrometeorologia*, v.9, n.3, p.501-509. 2001.
- Siles, P.; Vaast, P.; Dreyer, E.; Harmand, J. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss in a coffee (*Coffea arabica* L.) monoculture compared to an agroforestry system with *Inga densiflora*. *Journal of Hydrology*, v.395, n.1-2, 2010/12/6/, p.39-48. 2010.
- Siqueira, L. C. Levantamento florístico e etnobotânico de estrato arbóreo em Sistemas Naturais e Agroflorestais, Araponga. Minas Gerais. DBV, UFV, Viçosa, 2008. ?? p.

- Souza, H. N. Sistematização da experiência participativa com sistemas agroflorestais: rumo à sustentabilidade da agricultura familiar na Zona da Mata Mineira. (MS). DPS, Univ. Federal de Viçosa, Viçosa, 2006. 127 p.
- Souza, H. N.; Cardoso, I. M.; Fernandes, J. M.; Garcia, F. C. P.; Bonfim, V. R.; Santos, A. C.; Carvalho, A. F.; Sá Mendonca, E. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. *Agroforestry Systems*, v.80, n.1, Aug, p.1-16. 2010.
- Udawatta, R. P.; Anderson, S. H.; Motavalli, P. P.; Garrett, H. E. Calibration of a water content reflectometer and soil water dynamics for an agroforestry practice. *Agroforest Syst.* 2010.
- USDA. Soil Survey Manual. USDA. Washington, p.437. 1993.

CAPÍTULO 4

DINÂMICA HÍDRICO-TÉRMICA DO SOLO EM CULTURA DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) SOB SISTEMAS AGROFLORESTAL E A PLENO SOL, MANEJADOS POR AGRICULTORES FAMILIARES

INTRODUÇÃO

As atividades econômicas do mundo moderno alcançaram níveis que colocam em risco a capacidade de renovação dos mesmos. Isto tem exposto contingentes expressivos da população aos riscos de fenômenos extremos, em consequência das mudanças climáticas globais (Schipper & Pelling, 2006). As atividades agrícolas, por um lado, estão entre as que mais utilizam e degradam os recursos naturais. Por outro lado, a agricultura pode contribuir para a redução do impacto dessas mudanças (Sachs, 1993), pois a escassez progressiva desses recursos está levando a uma modificação da valoração das atividades humanas pela sociedade, que atribuiu à agricultura o papel de prestadora de serviços ambientais (Mendonça, 2009; Sá Mendonça, 2010). Dentre os exemplos passíveis de pagamento por esses serviços, destacam-se os créditos pela captação, armazenagem e liberação da água para as sociedades à jusante das bacias manejadas. Essa perspectiva tem orientado estudos em escala local e regional (Chaves, 2010).

Dentre os sistemas agrícolas, a agricultura familiar faz uso intensivo dos recursos naturais locais e ocupa área e contingente populacional significativo em todos os continentes (Lin, 2010; Cannavo, 2011). Portanto, os estudos que abordem a eficiência

do uso dos recursos naturais no âmbito da agricultura familiar podem contribuir para aumentar os serviços ambientais oferecidos pela agricultura e auxiliar na mitigação dos efeitos dessas mudanças (Ferrari, 2005). A partir da década de 90 do século XX, cientistas começaram a avaliar os sistemas agroflorestais como potenciais prestadores de serviços ambientais, tanto na produção de biomassa (Droppelmann & Berliner, 2003) quanto na otimização dos recursos hídricos de origem pluvial (Lehmann *et al.*, 1998).

O café da espécie arábica (*Coffea arabica* L.) é uma das principais culturas que sustenta agricultores familiares nas regiões montanhosas dos continentes asiático, africano e centro-sul-americano (Lin, 2010), sendo compatível com sistemas agroflorestais, pois o mesmo aceita determinados níveis de sombreamento. Portanto, estudos que viabilizem a cultura do café contribuem significativamente para a sustentação social da população rural dessas regiões, e se em sistemas agroflorestais, aumenta as possibilidades de prestação de serviços ambientais.

Dentre os sistemas de produção de café, destacam-se sistemas agroflorestais com cobertura densa de copas de árvores até o cultivo a pleno sol (Beer, 1998). A cultura do café é especialmente dependente do ciclo sazonal da água (Carr, 2001). A maturação dos botões florais depende de um período seco (DaMatta, 2004), seguido de chuvas curtas ou elevação da umidade relativa para o florescimento e a disponibilidade de água das chuvas da primavera e verão é necessária para enchimento dos frutos (Carr, 2001). O sombreamento com árvores é uma das maneiras de manejar o stress hídrico em situações em que a água é limitante (Carelli *et al.*, 2000). Beer (1998) faz uma revisão das condições em que o sombreamento apresenta vantagens para a produtividade. Esse autor conclui que em regiões subtropicais, nas altitudes menores do que 900 m, a presença de sombreamento proporciona redução de estresse hídrico tanto pela redução da evaporação quanto pela diminuição da transpiração das plantas de café. A água no solo depende tanto da precipitação quanto da capacidade de infiltração. Sistemas agroflorestais contribuem para diminuir o impacto erosivo das chuvas e o escoamento superficial (Franco *et al.*, 2002).

Outra variável importante para a cultura do café arábica e diretamente relacionada com o sombreamento é a temperatura. DaMatta (2004) cita que a temperatura média anual ideal para o café arábica varia entre 18 e 21 °C. Acima de 23 °C a maturação é acelerada e há perda de qualidade da bebida. Temperaturas acima de 30 °C promovem redução do crescimento, amarelecimento das folhas e surgimento de tumores na base do caule. As temperaturas altas ocorrentes em estações secas

prolongadas promovem o abortamento das flores durante a floração. De modo inverso, temperaturas médias abaixo de 18 °C reduzem o crescimento e atrasam da maturação dos frutos, podendo retê-los até depois da florada do ano seguinte, o que reduz a produção de novas gemas e a produção total da planta. Souza *et al.* (2009) apontam que, diante das mudanças climáticas globais, os sistemas agroflorestais são opções para mitigar os efeitos da temperatura sobre as culturas, dentre elas, o café (Lin *et al.*, 2008). Muschler (1997) associa a adequação de sombreamento da cultura do café aos ambientes onde ocorrem fatores limitantes ao desempenho fisiológico da cultura. Assim, na Costa Rica, os sistemas de cultivo sombreado seriam recomendáveis nas altas ou nas baixas altitudes, uma vez que a variação extrema das temperaturas nessas situações seria aliviada pela cobertura arbórea.

A Zona da Mata de Minas Gerais é uma região montanhosa ocupada pela agricultura familiar com economia baseada na cultura do café. O sistema de cultivo adotado nessa região é predominantemente a pleno sol, em acordo com as condições tropicais de altitude, entretanto, a partir da década de 90 do século XX, uma iniciativa conjunta de ONGs (Cardoso *et al.*, 2000, Souza *et al.* 2010), organizações da sociedade civil representantes dos agricultores familiares e pesquisadores conduziram a instalação de unidades de observação com a inclusão de elementos arbóreos nos sistemas de produção de café em conjunto com os agricultores. Estudos sobre a viabilidade econômica dessas unidades de observação demonstraram que os sistemas agroflorestais podem ser uma opção de sistema de cultivo do café nessa região (Cardoso *et al.*, 2000; Ferrari, 2002; Souza *et al.*, 2010; Ferrari, 2005).Entretanto, os agricultores ressaltam a preocupação com a possibilidade de que as espécies arbóreas possam absorver água da camada superficial dos solos, competindo com o café (Souza *et al.*, 2010). Essa observação encontra respaldo na revisão sobre fatores ecofisiológicos limitantes da produção de café sombreado realizada por DaMatta (2004). Esse autor aponta que a escolha das espécies, bem como do manejo adequado, determina a eficiência do uso da água nas regiões ou nas estações em que esse recurso alcança níveis limitantes. Os estudos feitos sobre a economia de água e a temperatura em sistemas agroflorestais na Zona da Mata de Minas Gerais até então (Neves, 2001; Aguiar, 2008; Melo Chaves, 2009) registram informações pontuais e não acompanham com detalhe a evolução desses fatores nas fases críticas da cultura.

O presente estudo tem o objetivo de avaliar a disponibilidade de água no solo, a temperatura do ar e do solo em lavouras de café cultivadas sob sistemas agroflorestais

com diferentes níveis de sombreamento, manejadas com nível tecnológico apropriado para a agricultura familiar.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização geral da região

As unidades de observação estudadas estão localizadas em uma propriedade de agricultura familiar, no município de Araponga- Minas Gerais (Figura 1). A temperatura média da região é de 18 °C, a precipitação total anual varia de 1.200 a 1.800 mm, com um período seco de 2 a 4 meses. O relevo do município é montanhoso com declividade variando de 20 a 45 % nas encostas (Golfari, 1975). A classe de solo predominante é a dos Latossolos Vermelho-Amarelos, sendo intemperizados, profundos, bem drenados, ácidos e com baixo teor de nutrientes (Ker, 1995).



Figura 1. Localização do sistema agroecológico com áreas em sistemas agroflorestais e a pleno sol no município de Araponga-MG.

Caracterização da área de estudo

Foi selecionada uma propriedade no município de Araponga (Figura 1), contendo uma lavoura de café, manejada por um agricultor familiar desde o ano de 1995. As práticas agrícolas adotadas nessa lavoura atendem aos princípios do manejo agroecológico (Mendonça, 2009), dentre eles: controle manual das plantas invasoras sem exposição completa do solo, plantio de leguminosas no estrato herbáceo, adubações químicas e calagem em pequenas dosagens e supressão de uso de agrotóxicos. Dentro da lavoura foram delimitadas duas áreas (Figuras 2 e 3), uma com alta densidade de sombreamento (SAF) e outra a pleno sol (SPS), com práticas de manejo e posição no relevo homogêneas. Embora hajam árvores esparsas no SPS, a amostragem foi realizada no ponto com menor influência das mesmas e desconsideradas para efeito dos estudos aqui realizados (ver área de abrangência das copas, Figura 2 e projeção de sombras das árvores, Figura 3).

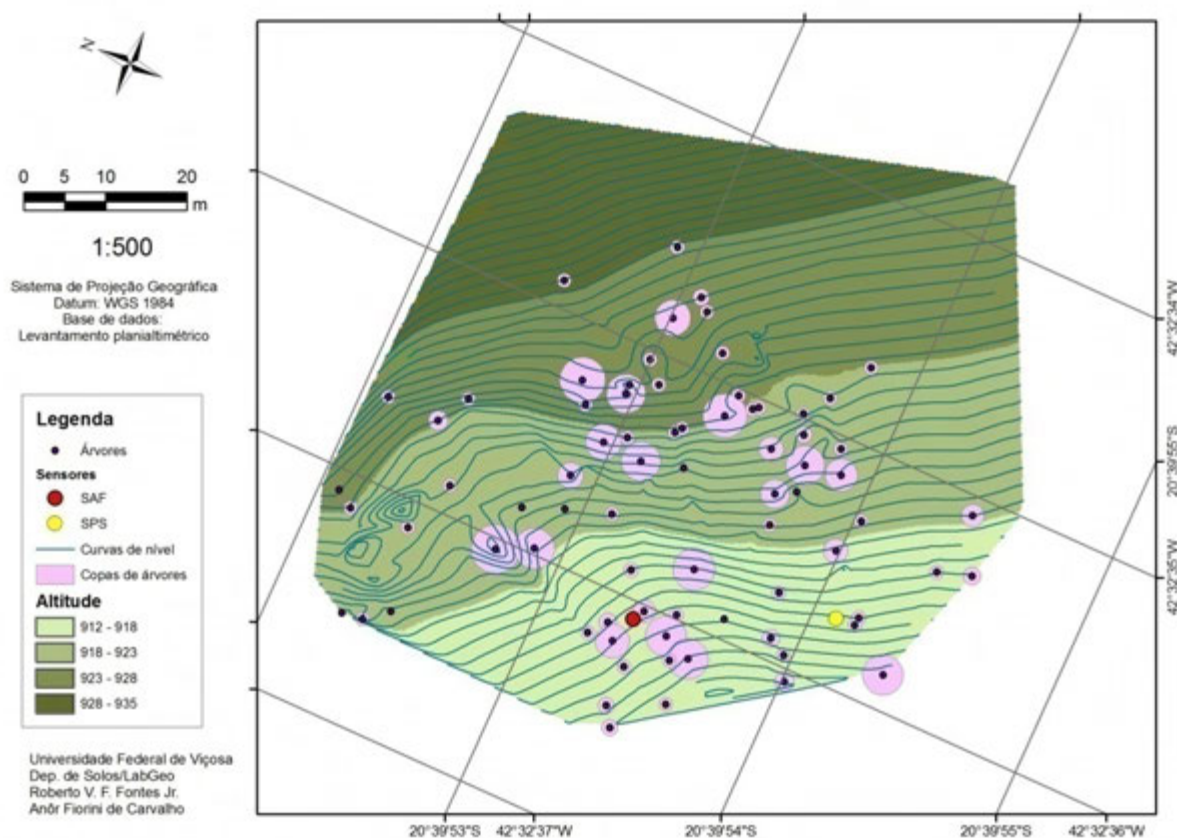


Figura 2. Mapa planialtimétrico de lavoura de café arábica, sob manejo agroecológico, localizada no município de Araponga-MG, com posição de árvores e respectivas copas, posição dos sensores de umidade e temperatura e estações meteorológicas nas áreas sob sistemas a pleno sol (SPS) e agroflorestal (SAF).

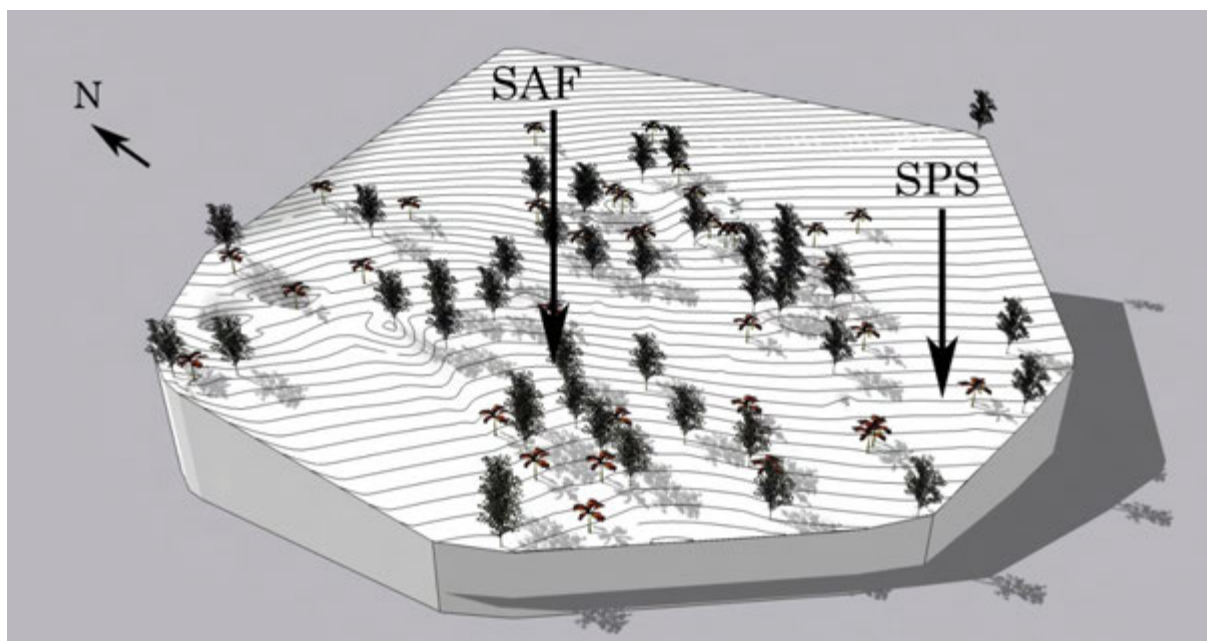


Figura 3. Modelo digital de terreno de lavoura de café arábica, sob manejo agroecológico, localizada no município de Araçuaia-MG, com posição de árvores e projeção de sombra no dia 1º de janeiro às 14:00 hs, posição dos sensores de umidade e temperatura e estações meteorológicas nas áreas sob sistemas a pleno sol (SPS) e agroflorestal (SAF).

A lavoura de café estudada tem área total de 5.053 m², com exposição solar SO (Figura 2), altitude de 918 m e posicionados no terço médio de uma elevação convexa. Esta área era ocupada com pastagem de capim gordura (*Melinis minutiflora* Beauv) durante a década de 80 do século XX. Em 1994 o capim foi cortado e depositado sobre o solo para decomposição e incorporação. Em 1995 foi implantada a lavoura de café (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Vermelho e Amarelo) e plantadas árvores de 25 espécies, dentre nativas e exóticas. Foi plantada nas entrelinhas capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). Foram plantadas também leguminosas das espécies calopogônio (*Calopogonio mucunoides* Desv.) e soja perene (*Glycine wightii* (Wight & Arn.) Verdc.). Em 1998 foi feito um corte seletivo de árvores. A escolha das espécies que permaneceram no campo obedeceu ao critério empírico de associação positiva com o café e ao critério observado pelo agricultor de deciduidade das folhas no final do outono e início do inverno (Duarte, 2007). Segundo o agricultor, a espécie *Erythrina verna* Vell. é a que melhor atende a esse critério. O argumento do agricultor para a adoção desse critério foi o de que haveria favorecimento de entrada de luz e redução da mão-de-obra, pois não é necessário realizar podas. Nesse mesmo ano foram erradicadas as plantas de capim elefante que havia crescido, dominado o estrato arbustivo e competido fortemente com o café, exigindo cortes frequentes e grande consumo da

demanda de mão-de-obra. A erradicação foi feita com auxílio de herbicida aplicado com jato dirigido. A partir daí a área não recebeu mais agrotóxicos. A lavoura recebeu calagem a cada três anos na dosagem de 100 g cova⁻¹. O café recebeu adubação anual de 100 g/cova da formulação 20-05-20. O manejo das plantas espontâneas foi feito usando controle mecânico. As árvores que foram mantidas recebem anualmente podas de condução, especialmente dos ramos inferiores, facilitando a entrada de luz nos locais em que a densidade das copas é alta.

Avaliação da perda de solo e água e cobertura vegetal

O escoamento de água superficial, bem como o peso de solo perdido por erosão laminar foram mensurados utilizando coletor modelo Gerlach adaptado para as condições dos agricultores familiares por Franco (2000). O coletor é composto de uma mesa de metal com 20 cm de abertura, que é fixada no solo e acoplada a uma gaveta de metal móvel. Sacos plásticos com volumes suficientes para armazenar o solo e a água são afixados na gaveta móvel. As gavetas são coletadas depois de períodos em que os eventos pluviais acumulam água ou solo em quantidades mensuráveis. Os sacos plásticos são retirados para mensurar a água e o solo coletados. Os coletores foram instalados em duas áreas com 10 m de comprimento e 10 de largura, posicionadas uma junto ao ponto 1: baixo sombreamento e outra ao ponto 2: alto sombreamento. O limite superior da área de coleta foi isolado para impedir a entrada de escoamento superficial externo. Foram instalados 5 coletores equidistantes ao longo de uma curva de nível, em cada ponto de sombreamento.

A cobertura do solo foi estimada utilizando avaliação visual de área coberta em uma moldura com 1 m², colocada sobre o solo, aleatoriamente, em 9 pontos de cada sistema, no momento da coleta dos dados de perda de solo e água.

Análises físicas e matéria orgânica

A análise granulométrica do solo foi realizada segundo Ruiz (2005a, 2005b) e a argila dispersa em água foi feita segundo EMBRAPA (1997). O teor de carbono foi determinado por via úmida seguindo método proposto por Yeomans & Bremner (1988). As seguintes análises foram feitas segundo EMBRAPA (1997): densidade do solo; densidade de partículas do solo; a porosidade total, determinada pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas do solo; microporosidade em amostras

indeformadas; macroporosidade calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade e a condutividade hidráulica em meio saturado. A retenção de água nas tensões de -10 kPa (tomado como capacidade de campo CC) e -1500 kPa (tomado como ponto de murcha permanente PMP) foram determinadas segundo Richards (1954).

Avaliação da precipitação, temperatura e umidade do solo

A precipitação pluvial foi colhida no período de 21/08/2009 até 06/07/2010 utilizando-se dois pluviômetros eletromecânicos com armazenagem de dados horária (resolução: 0,33 mm, faixa de medição: 0 a 2400 mm h⁻¹ e área de captação de 346 cm²; Irriplus Equipamentos), instalados a 2 m de altura do solo, acima da copa das plantas de café, sendo um instalado na parcela com nível alto de sombreamento (SAF) e outro com nível baixo de sombreamento (SPS).

A temperatura do solo foi medida com sensores termopar ($\pm 0,2$ °C entre 0 °C e 60 °C, modelo 105E, Campbell Scientific), instalados sob a projeção da copa das plantas de café à profundidade de 0,1 m. A temperatura do ar foi obtida com sensores termistor (erro $\pm 0,2$ °C entre 0 °C e 60 °C, modelo 107, Campbell Scientific), instalados em abrigos na altura de 1,0 m na linha de plantio e entre plantas de café.

A umidade do solo foi tomada com sensores TDR ($\pm 0,5$ % de umidade volumétrica em solo seco e $\pm 1,5$ % de umidade volumétrica em solo saturado, modelo CS 616, Campbell Scientific). Os sensores foram inseridos horizontalmente nas profundidades de 0,1, 0,3 e 1,0 m em parede de uma trincheira cavada no solo sob a projeção das copas das plantas de café e posteriormente preenchidas, procurando recompor a seqüência original das camadas e a densidade do solo. Amostras de solo em cilindros de 35 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro foram colhidas e trazidas para laboratório para proceder à calibração dos resultados dos sensores TDR diante do método de determinação de umidade em estufa, de acordo com procedimento descrito no manual de operação do equipamento. Dessa forma, os dados registrados pelos sensores foram transformados em teor de umidade volumétrica. Os sensores de temperatura e umidade foram acoplados e operados por equipamento de controle e armazenagem de dados (datalogger modelo CR 1000, Campbell Scientific), configurados para registro horário. A programação da frequência de leituras do datalogger foi feita com software que acompanha o equipamento (opção: Shortcut), sendo adotado o método SAMPLE, que registra a leitura do último intervalo de 5s antes de completar o período de cada

hora. Os dados de umidade volumétrica colhidos nas profundidades de 0,1; 0,3 e 1,0 m foram tomados como médias de umidade para três camadas de solo, sendo: 1) camada I superficial: 0,0 a 0,2 m; 2) camada II subsuperficial: 0,2 a 0,4m e 3) camada III subsuperficial: 0,4 a 1,6 m.

Cálculo do índice da capacidade de água disponível (ICAD)

A água disponível no solo para as plantas depende dos parâmetros da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente. Solos com o mesmo teor de água podem ter diferentes quantidades de água disponível para as plantas. Essas diferenças impedem a comparação da água disponível entre diferentes solos, utilizando somente o teor de água. Para permitir essa comparação foi calculado o índice de capacidade de água disponível (ICAD) para cada medida de umidade gravimétrica de cada profundidade de cada nível de sombreamento, utilizando a equação:

$$\text{ICAD} = \text{SA} / \text{IAD},$$

sendo SA o saldo de água e IAD o intervalo de água disponível. O SA e o IAD são calculados pelas equações:

$$\text{SA} = \text{umidade gravimétrica} - \text{PMP}$$

$$\text{IAD} = \text{CC} - \text{PMP}$$

Valores de ICAD menores do que zero indicam umidade abaixo do PMP, portanto indisponíveis para as plantas. Valores de ICAD maiores do que um indica umidade acima da CC, nesse caso passível de percolação para abaixo da profundidade avaliada. Valores de ICAD entre zero e um indicam umidade disponível para as plantas. Esse cálculo permite fazer com que o intervalo de umidade entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) assumam o valor de uma unidade e permita a comparação da água disponível entre diferentes solos ou diferentes profundidades de um mesmo solo.

Costa (2006) assume que o limite mínimo de umidade para evitar o estresse hídrico da cultura do café arábica corresponde à metade do intervalo de água disponível no solo. Dessa forma, temos ICAD igual a 0,5 como parâmetro de referência para a manutenção da atividade fisiológica da cultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aguiar (2008) estudou as propriedades físicas de sistemas agroflorestais manejados de forma similar na mesma região e aponta que o índice de estabilidade de agregados de ambos é maior do que os valores encontrados na literatura e não difere entre eles. Da mesma maneira, essa autora encontrou valores similares de condutividade hidráulica saturada e em campo para ambos os sistemas. Os valores dessa autora são similares aos registrados nesse estudo (Quadro 1). A elevada cobertura do solo, o índice de agregação e a condutividade hidráulica do SAF e do SPS estão diretamente relacionados com capacidade de infiltração de água e inversamente com o escoamento superficial de água indicados pelos valores de perda de solo e água.

As perdas de solo e água em 5 coletas durante a estação chuvosa encontram-se no Quadro 2, com quantidades sempre menores para SPS do que para SAF. A ordem de grandeza dos valores para perdas de solo está em perfeito acordo com os dados publicados para essa mesma região e sistemas de manejo por Franco (2000). O percentual de cobertura do solo nos dois sistemas foi de em torno de 80 % durante a estação chuvosa (Quadro 2). As perdas de água têm comportamento similar aos relatados para sistemas em que o solo é mantido coberto com a vegetação, quando comparados com sistemas convencionais de produção (Silva *et al.*, 2005). Esses valores de perdas de solo e água são muito menores do que os relatados por Bertolani & Vieira (2001) e Carvalho *et al.* (2002) para sistemas de manejo convencionais com retirada de plantas espontâneas da superfície do solo. Esses dados são importantes pois corroboram os resultados obtidos por Franco *et al.* (2002) e confirmam que os sistemas agroecológicos, independentemente de manejados com árvores ou a pleno sol, proporcionam proteção contra perdas de solo e água definitivamente mais eficientes do que sistemas convencionais que adotam controle mecânico de plantas espontâneas.

Quadro 1. Análise granulométrica, argila dispersa em água (ADA), matéria orgânica do solo (MOS), densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), porosidade (total, macroporosidade e microporosidade), condutividade hidráulica saturada e retenção de água do solo na capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP), sob cultura de café em sistema agroflorestal (SAF) e pleno sol (SPS), no município de Araponga, MG.

Prof. Solo	Análise granulométrica				ADA	MOS	Densidade		Porosidade do solo			Condut. hidr. saturada	Retenção H ₂ O	
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			Ds	Dp	Total	Microp	Macrop		CC -10 kPa	PMP -1500 kPa
m	dag kg ⁻¹				%	dag kg ⁻¹	g dm ⁻³		m ³ m ⁻³			mm h ⁻¹	kg kg ⁻¹	
SAF														
0,1	29	18	9	44	11	4,75	1048,6	2560,0	0,59	0,36	0,23	291,1	0,327	0,191
0,3	20	15	10	55	21	4,54	961,0	2580,0	0,63	0,35	0,28	312,4	0,338	0,210
1,0	18	16	10	56	4	1,65	907,9	2590,0	0,65	0,37	0,28	148,3	0,370	0,213
SPS														
0,1	30	18	10	42	12	5,07	1195,0	2580,0	0,54	0,32	0,22	330,4	0,303	0,161
0,3	20	14	10	56	13	3,59	1180,8	2570,0	0,54	0,32	0,22	208,9	0,303	0,173
1,0	19	13	9	59	2	1,47	981,7	2590,0	0,62	0,34	0,28	142,9	0,332	0,197

Quadro 2. Perda de solo e água e cobertura do solo, cultivado com café em sistema agroflorestal (SAF) e pleno sol (SPS), no município de Araponga, MG.

Data da coleta	Perda de solo		Perda de água		Cobertura do solo	
	SAF	SPS	SAF	SPS	SAF	SPS
	—kg ha ⁻¹ —		— L ha ⁻¹ —		—— % ——	
14/12/2009	0,6	5,1	50,0	206	88	79
28/1/10	1,4	5,2	80,0	102	84	76
4/2/10	0,0	1,6	20,0	24	86	78
19/3/10	1,6	7,0	0,00	6	83	74
Acumulado período ¹	3,6	13,8	150	338	85	77

Para cobertura do solo: média.

A textura dos solos sob SAF e SPS é argilosa. Os baixos valores de argila dispersa em água podem ser explicados pelos teores médios e altos de MOS nas camadas mais superficiais dos solos, bem como pela prática da calagem em pequenas doses adotada nesses sistemas. A condutividade hidráulica em meio saturado dos solos sob SAF e SPS está dentro da classe alta, segundo classificação do USDA (1993). A porosidade total apresentou valores menores para todas as profundidades nos sistemas agroecológicos. A retenção de água nos potenciais de -10 kPa e -1500 kPa foi ligeiramente mais elevada na área sob SAF do que na área sob SPS (Quadro 1).

A precipitação medida na área sob SPS foi de 1238,9 mm, enquanto no SAF foi de 825 mm, o que representou 66,6 % do primeiro. A interceptação pelas copas é considerada a maior responsável pela menor precipitação interna de vegetação arbórea. Os valores percentuais de água escoada pelo tronco em registros na literatura para formações vegetais similares são baixos. Arcova & De Cicco (2003) encontraram apenas 0,2 % de água pluvial escoada pelos troncos, e Oliveira Junior & Dias (2005) indicam 1,7 %. Diniz *et al.* (2010) registraram valores de precipitação interna de floresta secundária em Pinheiral- RJ, de aproximadamente 77 % da precipitação externa. Já Scheer (2009) encontrou 87 % estudando floresta ombrófila densa no litoral do Paraná, e ressalta que o valor obtido é maior do que os registrados na literatura, que variam de 64 % a 82 %, afirmando ainda que, em floresta nebulosa a alta umidade mantém a água condensada à disposição para gotejamento logo no início dos eventos pluviais. Em uma

floresta secundária de Mata Atlântica, Arcova & De Cicco (2003) encontraram precipitação interna de 81,4 %, e Oliveira Junior & Dias (2005) registraram 81,7 % em uma área de regeneração da mata natural secundária em Viçosa-MG. Embora menos relevante, a baixa precipitação interna no SAF também pode ser consequência da opção de uso de um único pluviômetro, enquanto os dados de literatura citados acima foram obtidos com múltiplos coletores dentro das parcelas avaliadas.

A temperatura média, a média das máximas e mínimas e a amplitude entre as máximas e mínimas do solo a 10 cm de profundidade sob alto sombreamento foi sempre menor do que sob baixo sombreamento (Quadro 3). A proteção proporcionada pela cobertura das copas das árvores reduz a incidência da radiação direta e a emissão de radiação indireta, a partir do ar, que atinge o solo. Essa constatação permite supor que a evaporação deve ser menor sob maior sombreamento.

Quadro 3. Precipitação (Pp) registrada entre 08/2009 e 07/2010, temperaturas em °C (T) média, máxima, mínima e amplitude (Δ), tomadas entre 02/2009 e 07/2010, a um metro acima do solo junto à copa de plantas de café, sob cultura de café em sistema agroflorestal (SAF) e pleno sol (SPS), no município de Araponga, MG.

Sombreamento	Pp	Tmédia	Tmáx	Tmin	ΔT max - min
	mm	°C			
SAF	825,0 (66,6 %)	19,34	24,70	13,81	10,89
SPS	1238,9 (100 %)	20,29	26,81	14,08	12,73
Δ SPS -SAF		0,95	2,11	0,27	1,84

A amplitude de variação entre as temperaturas do solo nas áreas sob SAF e sob SPS foi maior durante o verão do que no inverno (Figura 4). Nos períodos de inverno as temperaturas se aproximam. Essa variação sazonal da temperatura é importante para a decomposição da matéria orgânica. Dessa forma, mantidas as outras condições, a decomposição da matéria orgânica deve ser mais rápida na área sob SPS (Drewnik, 2006).



Figura 4. Temperatura média diária a 0,1 m de profundidade do solo cultivado com café em sistema agroflorestal (SAF) e pleno sol (SPS), no município de Araponga, MG, entre 02/2009 e 07/2010.

Camargo & Camargo (2001) esquematizaram o desenvolvimento fenológico do cafeeiro arábica em dois anos, justificando a bianualidade reprodutiva da cultura. No primeiro ano são produzidas as gemas foliares que se transformam em gemas florais. No segundo ano essas gemas florescem e frutificam. A temperatura é um fator muito importante no primeiro ano fenológico, pois influencia a produção, maturação e abertura das gemas florais (DaMatta, 2004; Silva *et al.*, 2004). Drinnam & Menzel (1995) estudaram a influência da temperatura do ar na produção das gemas florais e no vingamento das flores e concluíram que o binômio diurno-noturno determina o sucesso da produção. Temperaturas médias maiores do que 33 °/28 °C inviabilizam a iniciação floral. Temperaturas médias 28 °/23 °C induzem a produção de um grande número de gemas nos ramos, entretanto, levam à má formação de botões florais (Camargo, 1985. Pinto *et al.*, 2001; Sedyama *et al.*, 2001). O melhor desempenho reprodutivo nas fases fenológicas de produção e maturação floral é atribuído ao binômio 23 °C/18 °C (Drinnam & Menzel, 1995). No Quadro 4 encontram-se as temperaturas do ar médias da máxima da média e da mínima diária, para os turnos diurno e noturno nos períodos de setembro a março e abril a agosto, descritos por Camargo e Camargo (2001), respectivamente como as fases fenológicas de produção de gemas axilares / maturação e floração para o SPS e o SAF.

Quadro 4. Temperaturas (°C) médias da máxima, média e mínima diárias, diurna e noturna, nos períodos de setembro a março e abril a agosto, tomadas a 1m acima do solo, junto à copa de plantas de café em sistema agroflorestal (SAF) e pleno sol (SPS), no município de Araponga, MG, entre 02/2009 e 07/2010.

	Setembro – Março				Abril - Agosto			
	Diurna		Noturna		Diurna		Noturna	
	°C							
	SAF	SPS	SAF	SPS	SAF	SPS	SAF	SPS
Máxima	28,6	29,3	21,4	21,4	22,8	23,5	17,1	17,1
Média	23,6	24,1	19,5	19,4	18,8	19,0	15,6	15,5
Mínima	18,7	18,9	17,6	17,5	14,7	14,6	14,0	13,9

Tanto o SAF quanto o SPS estão voltados para SO (Figura 2). Considerando que a face de exposição tem azimute de 240°, portanto muito próximo da exposição direta para oeste e que a unidade está localizada em elevação convexa (Figura 3), durante o verão a radiação direta atinge a área até que o sol alcance o poente, sem obstáculos. As diferenças de temperatura do ar entre o SAF e o SPS (Quadro 4) seguem a mesma tendência da temperatura do solo, no entanto, as amplitudes são muito menores (Figura 5). A circulação do ar favorece essa homogeneidade. Por outro lado, a média das mínimas inverte o comportamento, sendo menor no SPS. Esse fato está ligado às perdas de energia por irradiação desse sistema que está exposto diretamente à atmosfera.

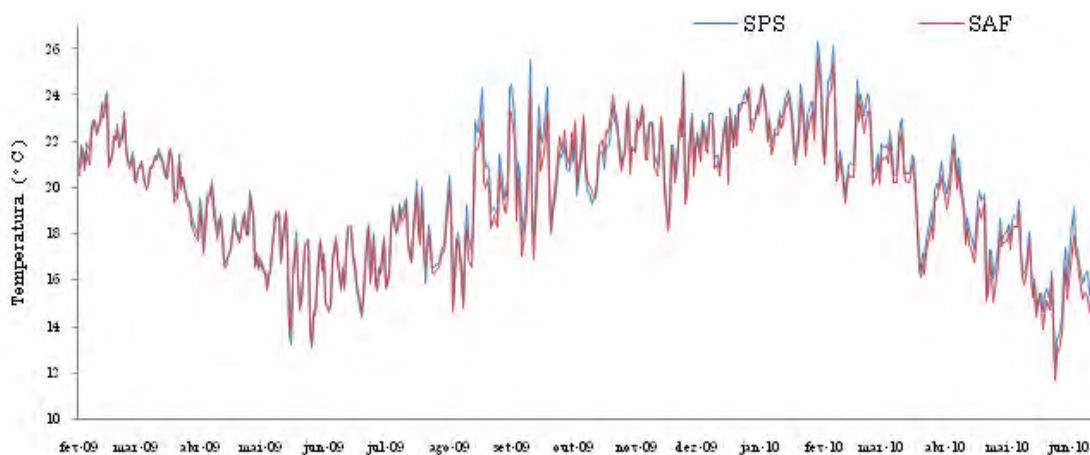


Figura 5. Temperatura do ar a 1,0 m de altura do solo na linha de plantio de cultura de café em sistema agroflorestal (SAF) e pleno sol (SPS), no município de Araponga, MG, entre 02/2009 e 07/2010.

Sob SAF as árvores proporcionam a reflexão da energia emitida dentro do sistema (Matsumoto *et al.*, 2004). Esse efeito foi marcante no final da primavera de 2009, conforme mostra a Figura 6, que apresenta um exemplo de variação diária de temperatura, em que a amplitude no SPS é maior do que no SAF e alcança valores mais altos durante o dia e menores durante a noite. Um dos objetivos da agroecologia é a inclusão da perspectiva do agricultor para avaliar e aperfeiçoar os sistemas de produção. O conforto térmico é apontado pelos agricultores como uma necessidade durante boa parte do dia em que o trabalho de manejo é feito nas áreas de produção. Assim, os SAFs acrescentam redução da insolação direta e da temperatura ambiente, contribuindo para garantir qualidade de vida aos agricultores (Oliveira & Kato, 2009).



Figura 6. Temperatura do ar entre 31/10 e 03/11/09, a 1,0 m de altura do solo, na linha de plantio de cultura de café, em sistema agroflorestal (SAF) e pleno sol (SPS), no município de Araponga, MG.

Tomando o parâmetro 28 °C/23 °C do binômio diurno/noturno, verifica-se que ambos os sistemas estão dentro da faixa considerada favorável à produção e reprodução do cafeeiro (Quadro 4). As temperaturas noturnas foram muito similares nas duas áreas. As maiores amplitudes de temperatura promovidas pelo sombreamento ocorreram nas máximas diurnas (0,7 °C) no período setembro-março. As variações dessa ordem comparadas com os resultados obtidos por Drinnam & Menzel (1995) permitem supor pequena influência do sombreamento sobre o comportamento do café. A arquitetura aberta das copas das árvores e a condução de podas determinaram ampla circulação de ar em ambas as áreas, justificando esse comportamento.

A precipitação registrada entre 24/08/09 e 06/07/10 no SAF e no SPS encontra-se na Figura 7-a. A precipitação tem uma relação direta com o aumento da umidade no solo nas três profundidades. Entretanto, a intensidade da resposta é menor nas profundidades maiores, em função do tempo que a água leva para infiltrar e da maior umidade inicial logo após o evento pluvial.

A umidade volumétrica das camadas I (0,0 a 0,2 m), II (0,2 a 0,4 m) e III (0,4 a 1,0 m) do solo do SAF e do SPS foi registrada entre 20/02/09 e 06/07/10, totalizando 501 dias e convertida no índice de capacidade de água disponível (ICAD) (Figura 7-b, c e d). No Quadro 5 encontra-se a média dos valores ICAD, o número de dias em que o ICAD esteve abaixo de 0,0, acima de 0,5 e acima de 1,0.

Na camada I tanto o SAF quanto o SPS apresentaram variação do índice de capacidade de água disponível (ICAD) bastante similar ao longo do ano (coef. correl. 0,9079). Entretanto, a média do ICAD no SPS nessa camada é 1,55 vezes maior do que no SAF (Quadro 5). Esse fato pode ser atribuído à menor precipitação efetiva interna no SAF, uma vez que parte das chuvas é interceptada pelas copas das árvores, umedecendo os tecidos vegetais e evaporando diretamente para a atmosfera. A precipitação total registrada no SAF foi de 823,3 mm de chuvas e no SPS foi de 1274,6 mm, ou seja, uma relação de 1,55 vezes maior no SPS. A variação da umidade superficial logo após os eventos pluviais apresenta dois comportamentos dependendo do sistema. Sob SAF a redução da umidade é mais brusca do que sob SPS. Logo após essa queda imediata a inclinação das curvas reduz e estas assumem um comportamento paralelo. Em nenhum momento a umidade média diária no SPS e no SAF superou o índice de capacidade de água disponível total, ou seja: $ICAD > 1,0$. Mesmo no registro horário, a umidade nessa camada não superou a capacidade de campo. Entretanto, isso não significa que, momentaneamente, a umidade não alcance a saturação, pois, o sensor registrou apenas a leitura do último instante de cada período de uma hora.

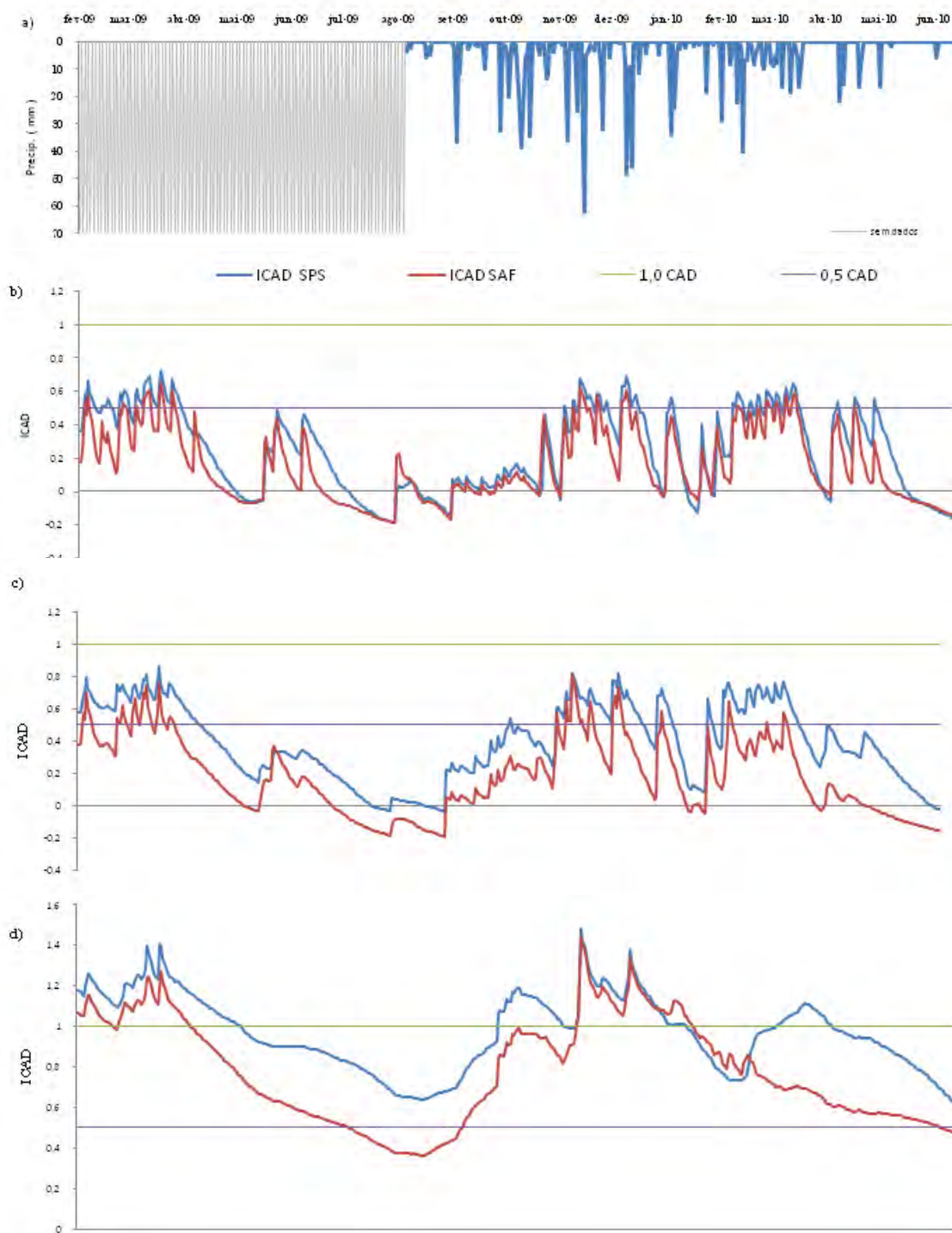


Figura 7. Precipitação em mm (a) e índice de capacidade de água disponível (ICAD) nas profundidades de 0,1 (b), 0,3(c) e 1,0 m (d) do solo cultivado com café em sistema agroflorestal (SAF) e pleno sol (SPS), no município de Araçuaia, MG.

Quadro 5. Número de dias com ICAD* < 0, > 0,5 e > 1, das camadas** I, II e III do solo sob cultura de café em sistema agroflorestal (SAF) e pleno sol (SPS), no município de Araponga, MG, no período de 20/02/09 e 6/07/2010.

Camada	ICAD	SPS	SAF	ICAD SPS/SAF
I	\bar{x}	0,24	0,16	1,55
	nº dias < 0	110	145	
	nº dias > 0,5	110	41	
	nº dias > 1	0	0	
II	\bar{x}	0,39	0,19	2,11
	nº dias < 0	28	128	
	nº dias > 0,5	179	61	
	nº dias > 1	0	0	
III	\bar{x}	0,97	0,78	1,25
	nº dias < 0	0	0	
	nº dias > 0,5	501	427	
	nº dias > 1	225	126	

* ICAD = 0 representa umidade no ponto de murcha permanente; ICAD= 1,0 umidade na capacidade de campo; ICAD= 0,5 umidade mínima para o pleno desenvolvimento da cultura do café; **Profundidade das camadas: I-0,0 a 0,2 m, II- 0,2 a 0,4 m e III- 0,4 a 1,0 m.

A condutividade hidráulica saturada para a camada I é de 291,1 mm h⁻¹ sob SAF e 330,4 mm h⁻¹ sob SPS (Quadro 2). Isso indica que a camada superficial permite a infiltração de chuvas muito intensas. Além disso, para coletar os anéis com amostras para determinar a condutividade hidráulica saturada o processo evita pontos em que haja raízes grossas ou canais produzidos pela fauna. Esse procedimento garante a integridade do volume coletado, no entanto, não expressa a variabilidade da infiltração nesses pontos em que a bioturbação aumenta a porosidade. A saturação é condição para haver escoamento superficial. Não houve registro significativo de perdas de água superficial, conforme dados discutidos mais à frente. Portanto, as perdas de solo e água não devem ocorrer significativamente sob SAF e SPS. A partir dessas evidências, inferimos que grande parte da água que alcança a superfície do SAF e do SPS infiltra rapidamente, fazendo da camada superficial um local em que o estresse hídrico pode limitar o pleno crescimento radicular. Resende (1992) afirma que esses primeiros centímetros da superfície do solo são um ambiente inóspito para o desenvolvimento das raízes. Durante a estação chuvosa a exploração dessa camada pelas raízes do café deve aumentar e contribuir para a depleção de água. Kantén *et al.* (2005) observaram que a densidade das

raízes finas de café até a profundidade de 0,2 m foi maior do que a das espécies arbóreas *Eucalyptus deglupta* Blume e de *Terminalia ivorensis* A. Chev. na estação chuvosa.

Outro aspecto importante a considerar para essa camada é a velocidade de decomposição da matéria orgânica. Considerando apenas a umidade, espera-se que a decomposição da matéria orgânica incorporada nesses primeiros centímetros de solos seja maior no SPS do que no SAF. Sob SAF a umidade alcança o status de déficit hídrico ($ICAD < 0$) em 110 dias no período avaliado (Quadro 5).

Na camada II o comportamento da curva de ICAD para os dois sistemas é similar na forma e na intensidade. A relação de ICAD SPS/SAF nessa camada (2,11) é maior do que para a camada I (Quadro 5). A umidade na camada II deve sofrer influência direta da absorção pelas raízes, principalmente do café. A profundidade efetiva do sistema radicular do café irrigado foi avaliada por Barreto *et al.* (2006) e alcançou 0,63 m, em LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico argiloso. Motta *et al.* (2006), em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, textura argilo-siltosa, encontraram que 86,7 % do comprimento total e 88,5 % da matéria seca das raízes encontrava-se até a profundidade de 0,4 m. Portanto, a camada II pode ter contribuído por grande quantidade de água absorvida pelos cafeeiros em ambos os sistemas. Considerando que as raízes do café podem estar ativas nessa profundidade em períodos mais secos, a camada II do SAF pode contribuir significativamente com a água absorvida pelo café no SAF, embora em quantidades menores e por períodos de tempo mais amplos do que no sistema SPS.

Sob SPS, além da presença do café, as plantas espontâneas que cobrem o solo também devem absorver água da camada II. Scaranari (1952) registra que as raízes, tanto de leguminosas usadas com adubo verde, quanto de café, encontram-se concentradas até a profundidade de 0,3 m em um Latossolo no estado de São Paulo. Apesar disso, o SPS apresenta mais umidade na camada II ($\bar{x}=0,39$) do que o SAF ($\bar{x}=0,19$) (Quadro 5). Uma das razões para esse comportamento pode estar na menor quantidade de precipitação interna no SAF, conforme foi discutido acima para a profundidade de 0,1 m. A distribuição do sistema radicular do café em profundidade é muito discutida na literatura. Apesar de ter sido relatada a presença de raízes a grandes profundidades (até 4,5 m), a maioria dos registros enfatiza que as raízes que cumprem as funções de absorção de água e nutrientes ocorrem nas camadas superficiais do solo, tanto em cultivos com espécies arbóreas quanto a pleno sol (Kobayashi, 2007). Rena & Guimarães (2000) argumentam que em torno de 80 % das raízes absorventes do cafeeiro são superficiais e ocorrem nos primeiros 40 cm de profundidade e, aproximadamente,

90 % sob a copa. Soares *et al.* (2007) relatam que, em latossolo argiloso, sob regime de déficit de umidade do solo, 70 % das raízes de café distribuíam-se até a profundidade de 0,6 m. A complementação de água para alcançar 70 % do intervalo de água disponível no solo modificou a distribuição das raízes para 0,5 m. Dessa forma, a menor quantidade de água na camada superficial do SAF pode promover maior crescimento radicular na camada II, logo abaixo, contribuindo para essa camada apresentar menores quantidades de água. Outra razão para o menor teor de água no SAF do que no SPS pode ser a menor contribuição de água em ascensão nos períodos em que a umidade atinge o ponto de murcha permanente, a partir da camada logo abaixo, uma vez que a umidade na camada III do SAF é sempre menor do que do SPS, conforme discutido à frente.

Na camada III reduz a diferença relativa entre a umidade do SAF e do SPS. A relação entre o ICAD médio SPS/SAF é de 1,25 (Quadro 5). Dentre os motivos para essa redução na diferença pode estar no contato dessa camada com o fluxo de água mais profundo ao longo da encosta, atenuando os efeitos da infiltração direta das camadas superficiais locais. Nos períodos mais úmidos os valores se aproximam, como em fevereiro-2010, entretanto, nos períodos mais secos a depleção de água no SAF é muito mais elevada do que no SPS. Logo após os eventos pluviais, a redução da umidade do solo no SAF é muito mais intensa do que no SPS. Esse efeito foi observado especialmente no ano de 2010, em que as chuvas do mês de janeiro foram menores do que a média histórica para o período e comprometeram o abastecimento do lençol freático.

Considerando que parte significativa da depleção de água em maiores profundidades é devida à absorção pelas raízes, conforme os autores citados a seguir podem supor que as árvores presentes no SAF explicariam a diferença marcante de ICAD a 1,0 m de profundidade. Lott *et al.* (2003) identificaram que sistemas agroflorestais de *Grevillea robusta* A. Cunn e milho transpiraram 25 % da água total anual durante a estação seca, aproveitando, ambas as espécies, a água acumulada no perfil. Durante o período de cultivo de milho os sistemas agroflorestais foram capazes de transpirar 85 % da água precipitada, contra menos de 50 % no caso da cultura de milho isolada, resultando em menor fornecimento de água para o lençol freático. Dessa forma os sistemas agroflorestais foram mais eficientes em utilizar a água total da precipitação das chuvas do que o monocultivo do milho. A mesma tendência foi registrada por Jackson *et al.* (2000). Conclusão similar foi descrita por Lehmann *et al.* (1998) que estudaram o comprimento radicular, a depleção de água no solo e o estresse

hídrico das raízes de um consórcio de *Acacia saligna* (Labill.) H.L.Wendi e *Sorghum bicolor* (L.)Moench. Foram avaliados os sistemas com acácia isolada, consórcio de acácia e sorgo e sorgo isolado. O comprimento radicular foi sempre maior na superfície, independente da estação e do sistema de cultivo. Na estação seca, a quantidade de raízes no sistema acácia isolada foi maior do que no sistema acácia com sorgo e este maior do que no sistema sorgo isolado. A mesma seqüência foi encontrada para a proporção entre a quantidade de raízes sub-superficiais e superficiais. Ou seja, o consórcio favoreceu a ocupação dos solos pelas raízes. O consórcio promoveu a separação espacial dos sistemas radiculares das espécies. O sorgo produziu mais raízes na superfície e a acácia mais raízes na sub-superfície no consórcio do que nos sistemas isolados. A depleção de água foi maior no sistema acácia isolado do que no consórcio acácia com sorgo e esta maior do que para o sorgo isolado. O consórcio promoveu competição de água entre a acácia e o sorgo. Apesar de o sorgo isolado absorver a água superficial mais eficientemente, o consórcio foi capaz de utilizar o total de água mais profundamente e mais cedo logo após a irrigação. Dessa forma, o consórcio aproveitou um volume total de água maior do que os sistemas monoculturais.

Considerando os volumes totais de água absorvida pelas plantas nas três camadas ao longo do ano, houve complementaridade entre as árvores e o café. Durante os períodos secos, tanto as árvores quanto o café reduzem sobremaneira a demanda total de água, de tal maneira que os volumes disponíveis foram suficientes para a manutenção das atividades fisiológicas das plantas do sistema até que no período chuvoso seguinte tornaram a absorver água e crescerem. Nos períodos em que há excedentes hídricos, a infiltração abastece o lençol freático.

CONCLUSÕES

As perdas de solo e água em ambos os sistemas foram menores do que em sistemas convencionais com retirada da cobertura vegetal. O sistema agroecológico com alto sombreamento (SAF) atenuou a temperatura do solo em relação ao baixo sombreamento (SPS). O SAF reduziu a amplitude de variação da temperatura média do ar em relação ao SPS e atenuou as temperaturas máximas. A umidade do solo no SAF foi menor do que no SPS, nas três profundidades e durante todo o período estudado. O

volume de água que drena a partir de 1,6 m de profundidade é menor no SAF do que no SPS.

Referências bibliográficas

- Aguiar, M. I. Qualidade Física dos Solos em Sistemas Agroflorestais. DPS, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008. 79 p.
- Arcova, F. C. S.; De Cicco, V.; Rocha, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. R. Árvore, v.27, n.2, p.257-262. 2003.
- Barreto, C. V. G.; Sakai, E.; Arruda, F. B.; Sakai, E. A.; Pires, R. M. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento em campinas. Bragantia, v.65, n.4, p.641-647. 2006.
- Beer, J.; Muschler, R.; Kass, D.; Somarriba, E. Shade management in coffee and cacao plantations. Agrofor. Syst., v.38, p.139-164. 1998.
- Bertolani, F. C.; Vieira, S. R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte a, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. R. Bras. Ci. Solo, v.25, p.987-995. 2001.
- Camargo, A. P. O clima e a cafeicultura no Brasil. Inf. Agropec., v.11, p.13-26. 1985.
- Camargo, A. P.; Camargo, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. Bragantia, v.60, n.1, p.65-68. 2001.
- Cannavo, P.; Sansoulet, J.; Harmand, J. M.; Siles, P.; Dreyer, E.; Vaast, P. Agroforestry associating coffee and *Inga densiflora* results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in Costa Rica. Agriculture, Ecosystems & Environment, v.140, n.1-2, 2011/1/30/, p.1-13. 2011.
- Cardoso, I. M.; Guijt, I.; Franco, F. S.; Carvalho, A. F.; Ferreira Neto, P. S. Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. Agricultural Systems, v.69, p.235-257. 2000.
- Carelli, M. L. C. ; Fahl, J. I. Crecimiento y asimilación del carbono y nitrógeno en plantas jóvenes de *Coffea* en condiciones de sol y de sombra. Memoria del XIX Simposio Latinoamericano de Cafeicultura. San Jose: Instituto del Café de Costa Rica, 2000. 101-108 p.
- Carr, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of coffee. Experimental Agriculture, v.37, n.1, p.1-36. 2001.
- Carvalho, D. F.; Montebeller, C. A.; Cruz, E. S.; Ceddia, M. B.; Lana, A. M. Q. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.3, p.385-389. 2002.
- Chaves, H. M. L. Relações de aporte de sedimento e implicação de sua utilização no pagamento por serviço ambiental em bacias hidrográficas. R. Bras. Ci. Solo, v.34, n.4, p.67-98. 2010.
- Costa, M. B. Avaliação da irrigação por pivô central na cultura do café (*Coffea canephora* L.) e na cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no município de Pinheiros - ES. ESALQ. Piracicaba, p.88. 2006
- Couto, E. A.; Dietz, J. M. Sugestões para a criação do Parque Nacional da Serra do Brigadeiro. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 1980

- DaMatta, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*, v.86, n.2-3, 2004/3/10/, p.99-114. 2004.
- Diniz, A. R. ; Pereira, M. G.; Balieiro, F. de C.; Machado, D. L.; Pereira, G. H. A.; Azevedo, C. J.; Melo Júnior, H.; Menezes, C. E. G. Dinâmica de nutrientes na precipitação interna em áreas de floresta secundária com diferentes estádios sucessionais, Pinheiral - RJ. XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Guarapari – ES, 2010. p.
- Drewnik, M. The effect of environmental conditions on the decomposition rate of cellulose in mountain soils. *Geoderma*, v.132, n.1-2, 2006/5//, p.116-130. 2006.
- Drinnan, J. E.; Menzel, C. M. Temperature affects vegetative growth and flowering of coffee (*Coffea arabica* L.). *Journal of Horticultural Science*, v.70, p.25-34. 1995.
- Droppelmann, K.; Berliner, P. Runoff agroforestry - a technique to secure the livelihood of pastoralists in the Middle East. *Journal of Arid Environments*, v.54, p.571–577. 2003.
- Duarte, E .M. G. Ciclagem de nutrientes por árvores em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica. (MS). DPS, UFV, Viçosa, 2007. 132 p.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solos. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa do Solo. 1997. 212p p.
- Ferrari, E. A. Monitoramento de impactos econômicos de práticas agroecológicas. Workshop: métodos e experiências inovadoras de monitoramento de projetos de desenvolvimento sustentável. Brasília: MAPA, 2002. 20 p.
- Ferrari, E. A.; Almeida, S. G. Por uma nova teoria Econômica para a agricultura Ecológica. *Ação Ambiental*: 24-29 p.2005.
- Franco, F. S. Agroforestry systems: a contribution to nature resource conservation in Zona da Mata de Minas Gerais. (D.S.). Florestas, Univ. Fed. de Viçosa, 2000. 160 p.
- Franco, F. S.; Couto, L.; Carvalho, A. F.; Jucksch, I.; Filho, E. I. F.; Silva, E.; Neto, J. A. A. M. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. *Rev. Árvore*, v.26, n.6, p.751-760. 2002.
- Golfari, L. Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento. Série Técnica 3. Belo Horizonte: CPFRC1975.
- Jackson, N. A.; Wallace, J. S.; Ong, C. K. Tree pruning as a means of controlling water use in an agroforestry system in Kenya. *Forest Ecology and Management* (2000), v.126, p.133-148. 2000.
- Kanten, R.V.; Schroth, G.; Beer, J.; Jiménez, F. Fine-root dynamics of coffee in association with two shade trees in Costa Rica. *Agroforestry Forum*, v. 63, p.247–261. 2005.
- Ker, J. C. Mineralogia, sorção e desorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil. (DS). DPS, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995. 181 p.
- Kobayashi, E. S. Consumo de água e produtividade de cafeeiros arábica na região de Mococa, SP. (MS). IAC, Campinas, 2007. 77 p.
- Lehmann, J.; Peter, I.; Steglichb, C.; Gebauer, G.; Huwed, B.; Zecha, W. Below-ground interactions in dryland agroforestry. *Forest Ecology and Management*, v.111, p.157-169. 1998.
- Lin, B. B.; Perfecto, I.; Vandermeer, J. Synergies between agricultural intensification and climate change could create surprising vulnerabilities for crops. *BioScience*, v.58, n.9, p.847-854. 2008.
- Lin, B. B. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.144, n.1-2, 2007/5/14/, p.85-94. 2010.

- Lott, J. E.; Khanb, A. A. H.; Blacka, C. R.; Ongb, C. K. Water use in a *Grevillea robusta*–maize overstorey agroforestry system in semi-arid Kenya. *Forest Ecology and Management*, v.180, p.45–59. 2003.
- Matsumoto, N. S. (org.). *Arborização de Cafezais no Brasil*. Vitória da Conquista - Bahia: UESB. 2004. 212 p.
- Melo Chaves, A. R. Aspectos fisiológicos do crescimento e da produção do cafeeiro. (DsC). DPF, Univ. Fed. Viçosa, Viçosa, 2009. 66 p.
- Mendonça, M. A. F. C. Construção e uso dos indicadores de sustentabilidade sociais e econômicos em agroecossistemas tradicionais: onde estamos? *Rev. Bras. de Agroecologia*, v.4, n.2, p.1217-1220. 2009.
- Motta, A.C.V.; Nick, J.A.; Yorinori, G.T.; Monte-Serrat, B. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. *Acta Sci. Agron.*, v.28, n.4, p.455-463. 2006.
- Muschler, R. Shade or sun for ecologically sustainable coffee production, a summary of environmental key factors. III Semana Científica del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba: CATIE, 1997. 109-112 p.
- Neves, Y. P.; Martinez, H. E. P.; Souza, C. M.; Cecon, P. R. Crescimento e produção de *Coffea arabica*, fertilidade do solo e retenção de umidade em sistema agroflorestral. II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Vitória: EMBRAPA, 2001. 1678-1687 p.
- Oliveira, J. S. R.; Kato, O. R. Agricultores inovadores, SAFs sustentabilidade e educação básica: pontos e contrapontos. Encontro Nacional de Geografia Agrária. São Paulo: FFLCH-USP, 2009. 1-14 p.
- Oliveira Júnior, J. C.; Dias, H. C. Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. *R. Árvore*, v.29, n.1, p.9-15. 2005.
- Pinto, H. S.; Zullo Jr., J.; Assad, E. D.; Brunini, O.; Alfonsi, R. R.; Coral, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cafeicultura do estado de São Paulo. *Rev. Bras. Agrometeorologia*, v.9, n.3, p.495-500. 2001.
- Rena, A. B.; Guimarães, P. T. G. Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam. 2000.
- Resende, M.; Carvalho Filho, A.; Lani, J. L. Características do solo e da paisagem que influenciam a susceptibilidade à erosão. Simpósio sobre manejo e conservação do solo no cerrado. Campinas, 1992. 32-67 p.
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline alkali soil. Salinity Lab. New York, p.160. 1954. (60)
- Ruiz, H. A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Recife: SBCS, 2005. 30 p.
- _____. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.297-300. 2005.
- Sachs, I. Estratégias de transição para o século XXI. In: M. Bursztyn (Ed.). *Para Pensar o Desenvolvimento Sustentável*. São Paulo: Brasiliense, 1993. Estratégias de transição para o século XXI, p.29-56
- Sá Mendonça, E.; Cardoso, I. M.; Jucksch, I.; Fernandes, R. B. A.; Macedo, R. J. Sistemas agroflorestrais: contribuições para a sustentabilidade agrícola de propriedades familiares no bioma mata atlântica. 1er Congreso Latinoamericano y Europeo en co-innovación de sistemas sostenibles de sustento rural. Minas-Uruguay, 2010. 37-40 p.
- Scaranari, H. J. Sistema radicular das principais leguminosas empregadas como adubo verde em cafézal. *Bragantia*, v.12, n.7-9, p.291-298. 1952.

- Scheer, M. B. Fluxo de nutrientes pela precipitação pluviométrica em dois trechos de floresta ombrófila densa em Guaraqueçaba, Paraná. *Floresta*, v. 39, n.1, p.117-130. 2009.
- Schipper, L.; Pelling, M. Disaster risk, climate change and international development: scope for, and challenges to, integration. *Disasters*, v.30, n.1, p.19-38. 2006.
- Sediyama, G. C.; Melo Jr., J. C. F.; Santos. A. R.; Ribeiro, A.; Costa, M. H.; Hamakaua, P. J.; Costa, J. M. N. ; Costa, L. C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. *Rev. Bras. Agrometeorologia*, v.9, n.3, p.501-509. 2001.
- Silva, E. A.; DaMatta, F. M.; Ducatti, C.; Regazzi, A. J.; Barros, R. S. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of arabica coffee trees. *Field Crops Research*, v.89, n.2-3, 2004/10/8/, p.349-357. 2004.
- Silva, C. G.; Sobrinho, T. A.; Vitorino, A. C. T.; Carvalho, D. F. Atributos físicos, químicos e erosão entressulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.25, n.1, p.144-153. 2005.
- Soares, A. R.; Mantovani, E. C.; Soares, A. A.; Oliveira, R.; Coelho, M. B.; Rena, A. B. Produção e distribuição de raízes em cafeeiros irrigados por gotejamento. *Engenharia na Agricultura*, v.15, n.2, p.130-140. 2007.
- Souza, H. N.; Duarte, E. M. G.; Aguiar, M.; Fernandes, R. B. A.; Sá Mendonça, E. ; Cardoso, I. M. Increasing biodiversity in agroecosystems decreases climate change problems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v.6, n.37, p.372034. 2009.
- Souza, H. N.; Cardoso, I. M. ; Fernandes, J. M.; Garcia, F. C.. P.; Bonfim, V. R.; Santos, A. C.; Carvalho, A. F.; Sá Mendonça, E. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. *Agroforest Syst*, v.80, p.1–16. 2010.
- USDA. Soil Survey Manual. USDA. Washington, p.437. 1993
- Yeomans, J. C.; Bremer, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476. 1988.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Considerando que:

- Os sistemas agroecológicos a pleno sol (SPS) e agroflorestal (SAF) captam a maior parte da água das chuvas.
- As perdas de água por escoamento superficial e as perdas de solo transportado por água dos sistemas agroecológicos sejam muito menores do que em sistemas convencionais.
- Os SAFs interceptam maior volume de água das chuvas do que os SPSs, resultando em maior transformação da radiação em calor latente de vaporização com redução da temperatura ambiente, bem como em maior evaporação para a atmosfera.
- O volume de água drenado para abaixo da profundidade de 1 m do solo ocorre em ambos os sistemas nos períodos chuvosos, sendo passível de alimentar o lençol freático e seja mais elevado nos SPSs do que nos SAFs.
- As taxas de depleção de água no solo nos períodos chuvosos sejam maiores nos SAFs do que nos SPSs e nos períodos secos sejam similares em ambos os sistemas.
- Os teores de água disponível para a absorção pelas raízes nas camadas superficiais do solo durante os períodos chuvosos e mais quentes, quando as plantas estão em crescimento, sejam suficientes para a manutenção tanto dos SPSs quanto dos SAFs.
- Os SAFs reduzem a temperatura média e máxima do estrato arbustivo ocupado pelo café, principalmente nos períodos do ano em que as gemas axilares dos ramos do café se diferenciam e maturam em botões florais.
- As características fenológicas e o manejo dos elementos arbóreos dos SAFs reduzem a penetração da radiação e a temperatura da superfície do solo local.

Concluimos que:

- Os SAFs e os SPSs apresentam a possibilidade de manejo do destino da água das chuvas, com ênfase para a atmosfera no primeiro sistema e para abastecer o lençol freático no segundo.
- As águas das chuvas são suficientes para a manutenção do café nos SPSs e do café e das árvores nos SAFs.
- O estrato arbustivo ocupado pelo café e o estrato arbóreo dos SAFs usam a água de forma complementar durante o ano.
- Os SAFs atenuam a temperatura da atmosfera e do solo, especialmente nos períodos mais quentes do ano, sendo um sistema com potencial para mitigar localmente os efeitos do aquecimento global.
- Os SAFs e os SPSs são sistemas plásticos que podem prestar serviços ambientais para atender as necessidades da sociedade.