

FABIANA SILVA DE SOUZA

**DINÂMICA HÍDRICO-TÉRMICA E PERDAS DE SOLO E ÁGUA: INFLUÊNCIA
DO USO E GEOFORMA DO SOLO**

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

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S729d
2011

Souza, Fabiana Silva de, 1982-

Dinâmica hídrico-térmica e perdas de solo e água : influência do uso e geoforma do solo / Fabiana Silva de Souza. – Viçosa, MG, 2011.

ix, 88f. : il. (algumas color.) ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Hugo Alberto Ruiz.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Solos - Umidade. 2. Solos - Temperatura. 3. Erosão.
4. Escoamento. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação em
Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

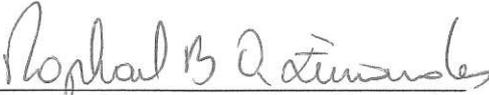
CDD 22. ed. 631.432

FABIANA SILVA DE SOUZA

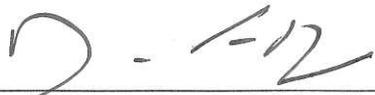
**DINÂMICA HÍDRICO-TÉRMICA E PERDAS DE SOLO E ÁGUA:
INFLUÊNCIA DO USO E GEOFORMA DO SOLO**

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: 28 de julho de 2011.



Prof. Raphael Bragança Alves Fernandes
(Coorientador)



Prof. Demetrius David da Silva
(Coorientador)



Prof. Mozart Martins Ferreira



Prof. Diego Lang Burak



Prof. Hugo Alberto Ruiz
(Orientador)

“A vida é também um solo,
que recebe e produz eternamente”.

André Luiz

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Solos, pela oportunidade para realização do curso de doutorado, ao Departamento de Engenharia agrícola pela infraestrutura concedida e ao Departamento de Engenharia Florestal pela liberação de utilização da Estação de Pesquisas, Treinamento e Educação Ambiental Mata do Paraíso.

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudo e recurso para condução do experimento.

Ao Prof. Hugo Ruiz, pelo respeito e paciência com que foi capaz de ensinar e orientar. Agradeço os teus ensinamentos, amizade e apoio profissional e pessoal.

Aos professores do Departamento de Solos, pelos ensinamentos transmitidos, pela dedicação e amizade, em especial aos Professores Raphael, Carlos, Júlio, Victor Hugo, Nairam, Elpídio, João Ker e Liovando, pelos quais tenho grande estima.

Ao Prof. Demetrius (DEA/UFV) pelo apoio indispensável e amizade.

A Profa. Lúcia Calijuri (DEC/UFV) pela concessão de materiais e equipamentos.

Aos funcionários do Departamento de Solos, pelo apoio, em especial ao Cláudio, Sr. Bené, Fábio, Carlos, e as secretárias “amigas” Lu e Claudinha.

Aos colegas de curso, pelo convívio e pela amizade em todos os momentos.

Aos auxiliares de campo e amigos, José Nazairo e Ademar Tadeu. Ao Adilson, colega da fisioterapia e a mão extra na construção das parcelas experimentais.

Ao Prof. Anôr, Rogério, Everton e Ivan pelo apoio na instalação dos sensores.

Ao estagiário Thiago José pela dedicação e apoio.

Aos proprietários rurais do Paraíso pela concessão das propriedades para instalação dos experimentos.

E por fim, ao meu marido Carlos, a minha filha Malu, aos meus queridos pais, irmãos, familiares e amigos de Viçosa, sempre presentes em minha vida.

Enfim, a todos, obrigada!

BIOGRAFIA

FABIANA SILVA DE SOUZA, filha de José Gabriel de Souza e Maria de Lourdes Souza, é natural de Montes Claros, Minas Gerais. Iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Lavras (UFLA) em 2000. Graduou-se em dezembro de 2004, em 2005 ingressou no curso de Mestrado em Ciência do Solo da UFLA, concluindo em 2007 e, no mesmo ano ingressou no curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas da UFV, submetendo-se a defesa em julho de 2011.

ÍNDICE

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3
CAPÍTULO I	5
DINÂMICA HÍDRICO-TÉRMICA EM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM DIFERENTES USOS DO SOLO E GEOFORMAS	5
RESUMO	6
ABSTRACT	8
INTRODUÇÃO	10
MATERIAL E MÉTODOS	11
RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
CAPÍTULO II	39
PERDAS DE ÁGUA E SOLO EM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM RESPOSTA AO USO DO SOLO E À GEOFORMA	39
RESUMO	40
ABSTRACT	42
INTRODUÇÃO	43
MATERIAL E MÉTODOS	45
RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
APÊNDICE	70

RESUMO

SOUZA, Fabiana Silva de, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011. **Dinâmica hídrico-térmica e perdas de solo e água: influência do uso e geofoma do solo.** Orientador: Hugo Alberto Ruiz. Coorientadores: Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Raphael Bragança Alves Fernandes e Demetrius David da Silva.

O solo é recurso natural intensamente utilizado na produção agrícola podendo, por isso, ter sua capacidade produtiva comprometida pelo déficit hídrico, oscilações térmicas extremas e erosão hídrica, em decorrência de uso e manejo que levam à redução da cobertura vegetal do solo. Sendo assim, as relações entre os fatores que causam e os que permitem reduzir esses processos são de fundamental importância para o manejo agrícola dos solos. Diante do exposto, este trabalho visa avaliar a influência do uso do solo (mata, plantio de café, plantio de eucalipto e pastagem degradada) e da geofoma (côncava e convexa) na dinâmica hídrico-térmica e nas perdas de água e solo, em condições de chuva natural, no período de março de 2009 a fevereiro de 2010., em Latossolo Vermelho Amarelo localizado em microbacia do município de Viçosa, MG. Para monitoramento da umidade e temperatura do solo foram instalados sensores específicos em diferentes profundidades. As perdas de água e solo foram determinadas em unidades experimentais de 11,0 m de comprimento e 3,5 m de largura. O volume de água escoado na parcela foi captado em caixa com vertedor triangular e quantificado por meio de linígrafo automático com sensor de pressão. A perda de solo foi determinada pelo método direto, usando caixa coletora de sedimentos. Independente do uso do solo, os valores de umidade na geofoma côncava foram geralmente superiores aos da geofoma convexa para todas as profundidades. O fluxo de água entre as geofomas é diferente, na côncava, há convergência da água de chuva para os pontos registrados e a convexa reflete divergência e, eventualmente, menor infiltração de água. Na profundidade de 30 cm os menores valores de umidade do solo foram observados na pastagem e houve redução acentuada dessa característica no eucalipto, na profundidade de 100 cm. A amplitude térmica foi a variável mais indicada em estudos de temperatura. A temperatura do ar foi marcadamente superior à do solo, como resultado das maiores temperaturas máximas e das menores temperaturas mínimas apresentadas. No solo, a maior amplitude térmica foi na porção mais superficial. Considerando a necessidade de

chuva em volume e intensidade apreciáveis para contar com escoamento superficial e a necessidade desse escoamento para provocar erosão hídrica, quantidades elevadas de sedimentos foram carregadas em associação com os maiores valores de escoamento nas parcelas experimentais, com coeficientes de correlação linear no intervalo entre 0,781 e 0,989. As perdas de água acumuladas no período foram: pastagem > café \approx eucalipto >> mata. A presença do dossel e dos resíduos vegetais na mata, no café e no eucalipto diminui a velocidade do escoamento superficial e contribui para incrementar a infiltração de água no solo. As perdas de solo acumuladas no período foram eucalipto >> café > pastagem >> mata, resposta coerente com o revolvimento do solo nos cultivos de eucalipto e café e com a maior compactação superficial na pastagem, em resposta ao pisoteio dos animais. Em relação às geoformas, os resultados indicaram maiores perdas de água e solo na geoforma convexa. Como previamente indicado, o fluxo de água entre as geoformas é diferente, na convexa há divergência da água de chuva e, geralmente, menor infiltração e na côncava, pelo contrário, há convergência da água de chuva e maior infiltração.

ABSTRACT

SOUZA, Fabiana Silva de, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2011. **Hydro-thermal dynamics and water and soil losses: influence of land use and landform.** Adviser: Hugo Alberto Ruiz. Co-advisers: Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Raphael Bragança Alves Fernandes and Demetrius David da Silva.

Soil is a natural resource extensively used in agricultural production. It may therefore have its productive capacity compromised by drought, extreme temperature fluctuations and water erosion due to land use and management that causes reduction of ground cover. Thus, the relationships between the factors that cause and that reduce these processes are of fundamental importance for the management of agricultural soils. This study aims to evaluate the influence of land use (forest, coffee, eucalyptus and degraded pasture) and landform (concave and convex) in the hydro-thermal dynamics and water and soil losses, under natural rainfall, between March/2009 and February/2010, in a Red Yellow Latosol, in Viçosa, MG. Soil moisture and temperature were determined by specific sensors installed at different depths. Soil and water losses were determined in a 11.0 m long and 3.5 m wide experimental unit. The water flowing in the parcel was quantified with a Thalimedes shaft encoder with data logger. Soil loss was determined by a direct method, using a sediment collector box. Regardless of land use, the soil moisture values in concave landform were generally higher than those of convex landform for all depths. The water flow between these landforms is different: concave, with convergence of rainwater to the recorded points, and the convex, with divergence and less water content. At 30 cm depth, the lowest values were observed in the pasture, and there was marked reduction of soil moisture in eucalypt at a depth of 100 cm. The temperature range was the best index in temperature studies. The temperature range of air is higher than soil temperature range, due to higher maximum temperatures and lower minimum temperatures. Soil temperature range was greater at 10 cm than at 30 cm. These results confirm that soil is buffered with depth, and less sensitive to temperature oscillations. Considering the need for rain in appreciable volume and intensity to rely on runoff and necessity of runoff to cause soil erosion, large amounts of sediment were loaded associated with the highest flow in the

experimental plots. Linear correlation coefficients, in the range between 0.781 and 0.989, were determined to relate those variables. Total water losses during the period were: pasture > coffee \approx eucalyptus \gg forest. The presence of the canopy and surface residues in forest, coffee and eucalyptus slows runoff and helps to increase water infiltration into the soil. Total soil losses were: eucalyptus \gg coffee > pasture \gg forest. Those results were associated to soil disturbance in eucalyptus and coffee due to field work and to surface compaction in pasture in response to animal trampling. Regarding landforms, results indicated higher water loss and soil in convex landform. The water flow between landforms is different, the convex causes divergence of rainwater and usually less water infiltration, and the concave, on the contrary, causes convergence of rainwater and increased water infiltration.

INTRODUÇÃO GERAL

O solo é recurso natural intensamente utilizado na produção agrícola podendo, por isso, ter sua capacidade produtiva comprometida pelo déficit hídrico, oscilações térmicas extremas e erosão hídrica, entre outras características, em decorrência de uso e manejo inadequados que levam à redução da cobertura vegetal do solo.

Dentre as interferências antrópicas, a alteração do uso do solo com a ocupação das terras com atividades agrícolas e florestais, decorrente do desmatamento desordenado, pode resultar num conjunto de problemas ambientais, como a extinção de várias espécies da fauna e flora, mudanças climáticas locais, erosão dos solos, eutrofização e assoreamento dos cursos d'água (Ferreira & Dias, 2004). Sendo assim, as relações entre os fatores que causam e os que permitem reduzir esses processos são de fundamental importância para o manejo agrícola dos solos no contexto de bacia hidrográfica e não somente de propriedades rurais isoladas. Com isso, o conhecimento dos fatores envolvidos no processo erosivo apresenta grande importância no planejamento conservacionista na atividade agrícola e suas interações ambientais.

A dinâmica hídrico-térmica do solo em relação ao sistema solo-planta-atmosfera é de fundamental importância para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A produção vegetal e a qualidade ambiental são dependentes, também, das condições físicas. Solos com bom índice de agregação e bem manejados funcionam adequadamente para manter o balanço equilibrado de ar, água e calor, a ciclagem de nutrientes e o crescimento do sistema radicular das plantas (Arshad et al., 1996; Reynolds et al., 2002).

Dentre os elementos mais relevantes no controle dos processos hidrológicos, o conteúdo de água do solo destaca-se, visto que exerce influência no escoamento superficial, na evaporação de água da superfície do solo, na transpiração das plantas e em outras interações geográficas e pedogênicas (Ávila et al., 2010).

O regime térmico do solo é determinado pelo aquecimento da superfície pela radiação solar e pelo fluxo de calor para seu interior. A temperatura do solo influencia vários processos, tais como germinação de sementes, crescimento radicular, absorção de

água e nutrientes e decomposição da matéria orgânica que influenciam a produção agrícola (Derpsch et al., 1991; Domisch et al., 2001).

A erosão hídrica é causada, fundamentalmente, pelo impacto das gotas de chuva e pelo escoamento superficial, o que provoca a migração de partículas do solo (Schäfer et al., 2001). Essa erosão é afetada por elevado número de agentes naturais e antrópicos (Minella, 2007). O aumento da erosão hídrica, em regiões tropicais e subtropicais, encontra-se relacionado com o manejo inadequado do solo que provoca redução da cobertura vegetal e da porosidade (principalmente macroporosidade), com diminuição da infiltração de água (Mello et al., 2003).

Dentro desse contexto, a cobertura vegetal e a forma da encosta desempenham papel importante na distribuição hídrica, nas trocas de energia na superfície e no fluxo de calor para o interior do solo, ao longo do tempo, bem como na erosão hídrica do solo. A cobertura vegetal proporcionada pelos diferentes usos do solo é fator determinante na redução da erosão hídrica, conservando a umidade do solo e atenuando as oscilações térmicas, de forma a contribuir de maneira benéfica na biologia do solo (Voos & Sidiras, 1985; Trevisan et al., 2002; Martorano et al., 2009). A cobertura interfere na infiltração, na evaporação e no escoamento da água e na radiação solar que atinge a superfície do solo. Condições favoráveis tornam a camada superficial do solo ambiente mais adequado, favorecendo a proliferação de raízes. Superfícies sem cobertura ficam sujeitos a maiores perdas de água e solo e a grandes variações térmicas diárias.

A forma da encosta, côncava e convexa, é um atributo da paisagem que apresenta características que condicionam o terreno a respostas diferenciadas. Assim, influencia o fluxo de água, a exposição à radiação solar direta e o acúmulo de ar frio durante o inverno nas geoformas côncavas, ocasionando variações no conteúdo de água e temperatura do solo, como também perdas de solo e água o que afeta, conseqüentemente, o processo erosivo (Blaszczyński, 1997).

Portanto, o conhecimento e a geração de informações sobre a dinâmica hídrico-térmica do solo e as perdas de solo e água são importantes para a compreensão de processos que dependem de condições específicas do meio e das práticas de manejo adotadas. Assim, faz-se necessário avaliar a dinâmica hídrico-térmica do solo e o processo erosivo, bem como as perdas ocasionadas dentro do processo de produção agrícola, para escolha e adoção de práticas que visem minimizar a degradação do solo e, conseqüentemente, manter ou aumentar a sustentabilidade na atividade agrícola.

Diante do exposto, este trabalho visa avaliar a influência do uso do solo (mata, plantio de café e eucalipto e pastagem degradada) e da geoforma (côncava e convexa) na dinâmica hídrico-térmica e nas perdas de água e solo, em condições de chuva natural, em Latossolo Vermelho Amarelo na microbacia do córrego Santa Catarina, afluente do Ribeirão São Bartolomeu, município de Viçosa, Zona da Mata de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.123-141.
- ÁVILA, L.F.; MELLO, C.R. & SILVA, A.M. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 14:1257-1266, 2010.
- BLASZCZYNSKI, J.S. Landform characterization with Geographic Information Systems. *Photogrammetric Eng. Rem. Sens.*, 63:183-191, 1997.
- DOMISCH, T.; FINER, L. & LEHTO, T. Effects of soil temperature on biomass and carbohydrate allocation in Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings at the beginning of the growing season. *Tree Physiol.*, 21:465-472, 2001.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KÖPKE, U. Importância da rotação de culturas. In: DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. *Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo*. Eschborn, GTZ/IAPAR, 1991. p.147-164.
- FERREIRA, D.A.C. & DIAS, H.C.T. Situação atual da mata ciliar do Ribeirão São Bartolomeu em Viçosa, MG. *R. Árvore*, 28:617-623, 2004.
- MARTORANO, L.G.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; FARIA, R.T.; MIELNICZUK, J. & COMIRAN, F. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 13:397-405, 2009.
- MELLO, E.L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A.L.V. & CARRAFA, M.R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:901-909, 2003.
- MINELLA, J.P.G. Utilização de técnicas hidrossedimentométricas combinadas com a identificação de fontes de sedimentos para avaliar o efeito do uso e do manejo do solo nos recursos hídricos de uma bacia rural no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 162p. (Tese doutorado)
- REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S. & LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, 110:131-146, 2002.
- SCHÄFER, M.J.; REICHERT, J.M.; CASSOL, E.A.; ELTZ, F.L.F. & REINERT, D.J. Erosão em sulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:419-430, 2001.

TREVISAN, R.; HERTER, F.G. & PEREIRA, I.S. Variação da amplitude térmica do solo em pomar de pessegueiro cultivado com aveia preta (*Avena* sp.) e em sistema convencional. R Bras. Agrociência, 8:155-157, 2002.

VOSS, M. & SIDIRAS, N. Nodulação da soja em plantio direto em comparação com plantio convencional. Pesq. Agropec. Bras., 20:775-782, 1985.

CAPÍTULO I

DINÂMICA HÍDRICO-TÉRMICA EM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM DIFERENTES USOS DO SOLO E GEOFORMAS

RESUMO

SOUZA, Fabiana Silva de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011.
Dinâmica hídrico-térmica em latossolo vermelho amarelo em diferentes usos do solo e geoformas. Orientador: Hugo Alberto Ruiz. Coorientadores: Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Raphael Bragança Alves Fernandes e Demetrius David da Silva.

A dinâmica hídrico-térmica do solo é de fundamental importância para o desenvolvimento das plantas, sendo influenciada por características intrínsecas ao solo e por diferentes usos do solo e geoformas. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência do uso do solo (mata, plantio de café, eucalipto e pastagem) e da geoforma (côncava ou convexa) na dinâmica hídrico-térmica de Latossolo Vermelho Amarelo, em diferentes profundidades, no período de março/2009 a fevereiro/2010.

Para monitoramento da umidade e temperatura do solo foram instalados sensores específicos em Latossolo Vermelho Amarelo. O período anual de monitoramento foi separado em quatro períodos: transição seco, seco, transição chuvoso e chuvoso. Os resultados foram expressos em umidade do solo nas profundidades 10, 30 e 100 cm. As variáveis para temperatura foram temperatura média, máxima, mínima e amplitude térmica do ar e do solo nas profundidades 10 e 30 cm. Independente do uso do solo, os valores de umidade na geoforma côncava foram geralmente superiores aos da geoforma convexa para todas as profundidades. O fluxo de água entre as geoformas é diferente, na côncava, há convergência da água de chuva para os pontos registrados e a convexa reflete divergência e, eventualmente, menor infiltração de água. A umidade a 10 cm, não apresentou tendência definida em resposta ao uso do solo. Na profundidade 30 cm, os menores valores foram observados na pastagem. Resposta coerente com o papel da cobertura vegetal, com resíduos na superfície e a interceptação do dossel das plantas. Houve redução acentuada da umidade do solo no eucalipto, na profundidade de 100 cm. Essa redução pode indicar elevado consumo de água pela cultura, podendo gerar impactos hidrológicos potenciais. A amplitude térmica é a variável mais indicada em estudos de temperatura. A temperatura do ar foi marcadamente superior à do solo, como resultado das maiores temperaturas máximas e das menores temperaturas mínimas apresentadas. No solo, a maior amplitude térmica foi na porção mais superficial,

resultado que confirma a característica tamponante do solo em profundidade, além de ser menos sensível às oscilações térmicas. Deve destacar-se que a pastagem mostrou a maior amplitude térmica, em resposta à menor cobertura vegetal. Não houve tendência definida da influencia da geoforma.

Palavras chave: umidade do solo, temperatura do solo, cobertura vegetal, forma da encosta.

ABSTRACT

SOUZA, Fabiana Silva de, D.Sc., Federal University of Viçosa, July 2011. **Soil hydro-thermal dynamics in a Red Yellow Latosol in different land uses and landforms.** Adviser: Hugo Alberto Ruiz. Co-advisers: Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Raphael Bragança Alves Fernandes e Demetrius David da Silva.

The soil hydro-thermal dynamics is crucial for plant development. It is influenced by intrinsic characteristics of the soil and by different land uses and landforms. In this context, the objective of this study was to evaluate the influence of land use (forest, coffee, eucalyptus and pasture) and landforms (concave or convex) on the hydro-thermal dynamics of a Red Yellow Latosol at different depths between March/2009 and February/2010. Soil moisture and temperature were determined by specific sensors installed in a Red Yellow Latosol. The annual monitoring period was divided into four periods, transition dry (March to May/2009), dry (June to August/2009), transition wet (September to November/2009) and wet (December/2009 to February/2010). The soil moisture was determined at three depths: 10, 30 and 100 cm. Temperature measurements (mean, maximum, minimum, and range) were determined for air and soil, at two depths: 10 and 30 cm. Regardless of land use, the soil moisture values in concave landform were generally higher than those of convex landform for all depths. The water flow between these landforms is different: concave, with convergence of rainwater to the recorded points, and the convex, with divergence and less water content. The soil moisture at 10 cm, showed no definite trend in response to land use. At 30 cm depth, the lowest values were observed in the pasture. These results were consistent with the vegetation cover of soil, with surface residues and plant canopy interception. There was marked reduction of soil moisture in eucalypt at a depth of 100 cm. This reduction may indicate high consumption of water by the crop, which can generate potential hydrological impacts. The temperature range was the best index in temperature studies. The temperature range of air is higher than soil temperature range, due to higher maximum temperatures and lower minimum temperatures. Soil temperature range was greater at 10 cm than at 30 cm. These results confirm that soil is

buffered with depth, and less sensitive to temperature oscillations. It was observed that pasture, with less vegetation cover, showed the highest thermal amplitude. There was no soil temperature trend in response to landform.

Keywords: soil moisture, soil temperature, vegetation cover, landform.

INTRODUÇÃO

No sistema solo-planta-atmosfera, a dinâmica hídrico-térmica do solo é de fundamental importância para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A disponibilidade de água no solo influencia a produção vegetal, com reflexos negativos na sua falta ou excesso (Reichardt & Timm, 2004).

O conteúdo de água do solo é variável essencial no balanço hídrico. Varia no espaço e no tempo, determina a taxa de absorção de água pelas plantas e governa a infiltração, a evaporação e o escoamento da água no solo. Diferenças observadas no conteúdo de água do solo, em diversos cenários, permitem avaliar o manejo que poderia favorecer melhores rendimentos de determinado cultivo, associando estudos de disponibilidade de água e respostas da cultura a diferentes aportes hídricos (Alves, 2009).

O regime térmico e a temperatura do solo, pela sua vez, dependem da cobertura superficial por vegetação ou resíduos, do conteúdo de água e da intensidade e duração da radiação solar (Hillel, 1998). O regime térmico é determinado pelo aquecimento da superfície do solo pela radiação solar e pelo fluxo de calor para seu interior. Na produção vegetal, a temperatura do solo influencia vários processos, tais como, germinação de sementes, crescimento de raízes, absorção de água e nutrientes e decomposição de matéria orgânica (Derpsch et al., 1991; Domisch et al., 2001).

A cobertura vegetal e a forma da encosta atuam de maneira decisiva na distribuição hídrica, nas trocas de energia na superfície e no fluxo de calor para o interior do solo. Assim, a dinâmica de água no solo é afetada por vários fatores, dentre eles, topografia, propriedades físicas, cobertura vegetal, precipitação e condições meteorológicas (Chen et al., 2007).

A cobertura vegetal proporcionada pelos diferentes usos do solo, assim como a cobertura por resíduos culturais, além de ser fator determinante na erosão hídrica contribui para conservar a umidade do solo, atenuar as oscilações térmicas e agir de maneira benéfica na biota do solo (Voos & Sidiras, 1985; Trevisan et al., 2002;

Martorano et al., 2009). A cobertura interfere na infiltração e na evaporação da água e no escoamento superficial.

Além disso, interfere de maneira decisiva no regime de radiação solar entre o solo e a atmosfera, o que torna a camada superficial do solo um ambiente mais adequado, favorecendo a proliferação de raízes. Solos sem cobertura ficam sujeitos a maiores perdas de água no sistema solo-planta-atmosfera e a grandes variações térmicas nas camadas superficiais. A cobertura intercepta as gotas da chuva e a radiação solar, impedindo que atinjam diretamente a superfície do solo.

A forma da encosta, côncava e convexa, é um atributo de paisagem que apresenta características que condicionam o terreno a comportamentos distintos podendo ocasionar variações na dinâmica hídrico-térmica do solo. O fluxo de água convergente nas geoformas côncavas condiciona o terreno ao acúmulo de água proporcionando elevado conteúdo de água no solo e, nas geoformas convexas o fluxo de água divergente condiciona o terreno a menores valores de conteúdo de água no solo em relação à geoforma côncava. O acúmulo de ar frio durante o inverno, nas geoformas côncavas, acarreta redução da temperatura do solo e, a exposição à radiação solar direta, nas geoformas convexas o aumento da temperatura do solo (Blaszczynski, 1997).

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência do uso do solo (mata, plantio de café, eucalipto e pastagem) e da geoforma (côncava ou convexa) na dinâmica hídrico-térmica de Latossolo Vermelho Amarelo, em diferentes profundidades, no período de março/2009 a fevereiro/2010.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em área pertencente à microbacia do córrego Santa Catarina, afluente do Ribeirão São Bartolomeu, município de Viçosa, Zona da Mata de Minas Gerais, delimitada pelas coordenadas 20° 43' e 20° 51' S e 42° 50' e 42° 56' O, com altitude média de 690 m. O clima da região enquadra-se na classificação Cwb de Köppen, ou seja, mesotérmico com verões quentes e chuvosos e invernos frios e secos. A precipitação pluviométrica média anual é de 1221,4 mm, com período chuvoso de outubro a março. A umidade relativa média anual do ar varia de 80 a 85 % e a

temperatura média anual é de 19,4 °C. O uso do solo é formado basicamente por área agrícola e florestal.

As unidades experimentais foram selecionadas de acordo com o uso do solo e a geoforma (Quadro 1), apresentando declive médio de $0,12 \text{ m m}^{-1} \pm 0,003 \text{ m m}^{-1}$ e orientadas no sentido leste-oeste. O solo, em todas as unidades experimentais, foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. Os usos selecionados, café, eucalipto e pastagem, são as formas mais comuns de ocupação do solo na Zona da Mata mineira. Para fins de comparação considerou-se, como referência, uma reserva de Mata Atlântica secundária, com fragmento de aproximadamente 200 ha. Em todas as situações selecionou-se uma geoforma côncava e uma convexa, totalizando oito unidades experimentais demarcadas com área útil de $1,0 \text{ m}^2$. O número de unidades experimentais foi limitado pela especificidade e custo dos equipamentos utilizados no estudo da dinâmica hídrico-térmica.

O quadro 2 mostra a caracterização física do solo, nos usos e profundidades analisadas. Foi efetuada análise granulométrica (Ruiz, 2005), densidade do solo (Blake & Hartge, 1986) e retenção de água nos potenciais -10 kPa e -1500 kPa (Gardner, 1986).

O período de monitoramento da umidade e temperatura do solo compreendeu o período de março de 2009 a fevereiro de 2010. Para a determinação da lâmina precipitada na unidade experimental foi instalado um pluviômetro Ville de Paris com a área de captação da precipitação posicionada em plano horizontal com 1,5 m de altura da superfície do solo. A precipitação total no período de avaliação foi de 1249 mm, com distribuição mensal apresentada na figura 1.

Quadro 1. Descrição e histórico das áreas estudadas

Uso do Solo	Geoforma	Histórico
Mata	Côncava Convexa	Área de Mata Atlântica secundária
Café	Côncava Convexa	Cultivar ‘Catuaí vermelho’ implantado oito anos antes do ensaio, em curva de nível, espaçamento 2 x 2,5 m
Eucalipto	Côncava Convexa	Eucalyptus grandis, implantado cinco anos antes do ensaio, com espaçamento 3 x 1 m
Pastagem	Côncava Convexa	Pastagem degradada Brachiaria decumbens

Quadro 2. Caracterização física do solo considerando o uso, a geoforma e a profundidade média de amostragem

Característica	Mata		Café		Eucalipto		Pastagem	
	Côncava	Convexa	Côncava	Convexa	Côncava	Convexa	Côncava	Convexa
Profundidade média 10 cm (amostras retiradas entre 7,5 e 12,5 cm)								
Areia grossa (kg kg ⁻¹)	0,365	0,295	0,200	0,235	0,305	0,215	0,250	0,225
Areia fina (kg kg ⁻¹)	0,215	0,180	0,160	0,150	0,115	0,140	0,160	0,150
Silte (kg kg ⁻¹)	0,075	0,090	0,205	0,065	0,070	0,075	0,140	0,105
Argila (kg kg ⁻¹)	0,345	0,455	0,435	0,550	0,510	0,575	0,450	0,520
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	0,82	0,86	1,23	1,30	1,16	1,11	1,03	1,14
Retenção de água (kg kg ⁻¹)								
-10 kPa	0,245	0,297	0,425	0,314	0,265	0,313	0,348	0,321
-1.500 kPa	0,142	0,167	0,194	0,189	0,166	0,194	0,183	0,194
Profundidade média 30 cm (amostras retiradas entre 27,5 e 32,5 cm)								
Areia grossa (kg kg ⁻¹)	0,285	0,220	0,170	0,180	0,265	0,165	0,275	0,185
Areia fina (kg kg ⁻¹)	0,185	0,170	0,170	0,110	0,105	0,135	0,160	0,140
Silte (kg kg ⁻¹)	0,075	0,085	0,245	0,075	0,045	0,070	0,115	0,100
Argila (kg kg ⁻¹)	0,455	0,525	0,415	0,645	0,585	0,635	0,450	0,575
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	0,83	0,86	1,23	1,30	1,13	1,14	1,05	1,15
Retenção de água (kg kg ⁻¹)								
-10 kPa	0,252	0,296	0,457	0,308	0,273	0,301	0,322	0,324
-1.500 kPa	0,159	0,189	0,192	0,201	0,182	0,208	0,179	0,196
Profundidade média 100 cm (amostras retiradas entre 97,5 e 102,5 cm)								
Areia grossa (kg kg ⁻¹)	0,140	0,130	0,240	0,120	0,200	0,140	0,250	0,210
Areia fina (kg kg ⁻¹)	0,100	0,100	0,180	0,100	0,100	0,110	0,160	0,140
Silte (kg kg ⁻¹)	0,080	0,070	0,200	0,040	0,040	0,050	0,110	0,105
Argila (kg kg ⁻¹)	0,680	0,700	0,380	0,735	0,660	0,710	0,480	0,575
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	0,90	1,01	1,25	1,33	1,21	1,17	1,11	1,18
Retenção de água (kg kg ⁻¹)								
-10 kPa	0,306	0,316	0,427	0,359	0,286	0,287	0,313	0,355
-1.500 kPa	0,234	0,227	0,196	0,226	0,200	0,215	0,171	0,243

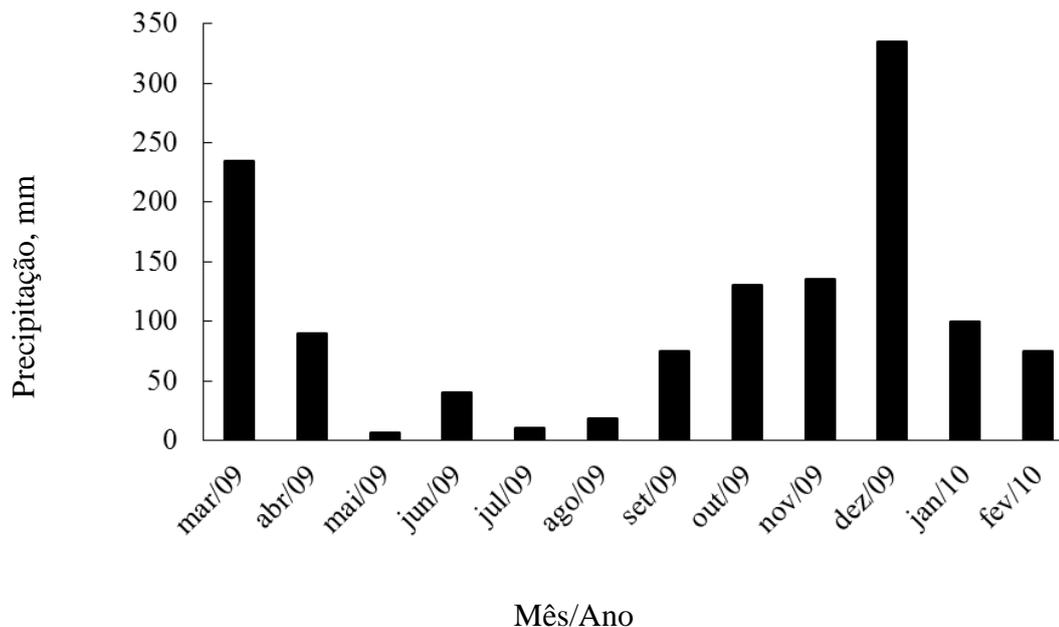


Figura 1. Precipitação pluviométrica mensal na área do estudo.

Para monitoramento da dinâmica hídrico-térmica do solo foram instalados sistemas de sensores Campbell Scientific ao longo do perfil: três sensores para a umidade do solo, nas profundidades de 10, 30 e 100 cm, e dois para a temperatura do solo, nas profundidades de 10 e 30 cm (Figura 2). Os sensores foram inseridos horizontalmente no perfil do solo e perpendicularmente ao sentido do declive. Os sistemas de sensores foram instalados nas unidades experimentais com café na projeção da copa das plantas e nas unidades experimentais com eucalipto, na linha de cultivo. No café e eucalipto as linhas de cultivo encontravam-se transversais ao sentido do declive. Nas unidades experimentais com mata e com pastagem, os sistemas de sensores foram instalados no centro da unidade experimental no centro da unidade experimental de 1 m².

A umidade volumétrica do solo foi medida nas profundidades indicadas, utilizando sensores Campbell Scientific modelo WCR CS616 (Figura 2). Esses sensores registram a umidade do solo por meio da análise da constante dielétrica do solo e da água. Os dados foram conferidos e transformados em umidade gravimétrica do solo após calibração com o método termogravimétrico. Para isso foram realizadas coletas de amostras nas profundidades de instalação dos sensores WCR, trabalhando-se em intervalo amplo de umidade do solo.

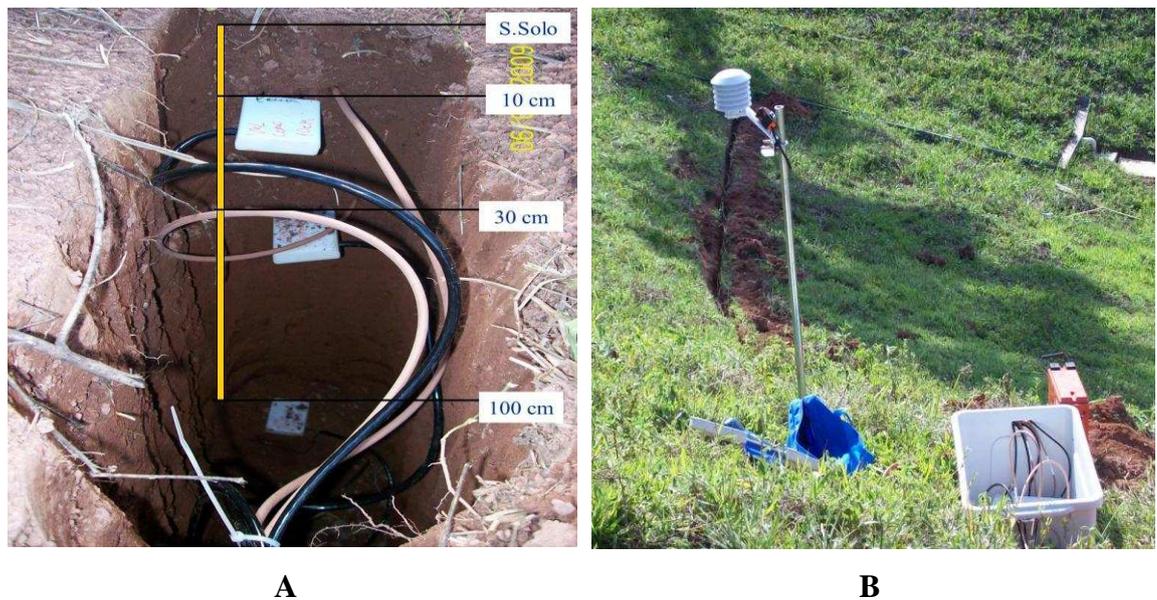


Figura 2. Instalação dos sensores de umidade e temperatura do solo (A) e de temperatura do ar (B).

A temperatura do solo foi medida nas profundidades indicadas, utilizando-se sensores Campbell Scientific modelo 105, com amplitude de -35 a 50 °C (Figura 2). Para medir a temperatura do ar foi instalado um sensor Campbell Scientific modelo 107, em abrigo meteorológico, a 1,0 m de altura em relação à superfície do solo (Figura 2). Os sensores utilizados são termistores consistentes de resistores de platina, com relação calibrada e estável entre a resistência elétrica e a temperatura.

Os sistemas de sensores foram conectados e operados por equipamento automatizado de aquisição de dados (datalogger) Campbell Scientific modelo CR1000. O software PC200W da Campbell Scientific foi utilizado para programar os dataloggers e coletar os dados em computador. A programação da frequência de leituras do datalogger (Opção: Shortcut) adotou o método SAMPLE, que registra a leitura média do último intervalo de 5 s antes de completar o período de cada hora, configurado para registro horário, totalizando 24 registros diários. A coleta dos dados no campo foi feita mensalmente, sendo considerada como época de avaliação.

O monitoramento da umidade e da temperatura do solo adotado permitiu efetuar medidas contínuas, em base horária, obtendo-se grande número de dados. Com isso, a partir da análise global dos dados, o ano estudado foi dividido em quatro períodos trimestrais: transição chuvoso-seco (março a maio/2009) (PTCS), seco (junho a

agosto/2009) (PS), transição seco-chuvoso (setembro a novembro/2009) (PTSC) e chuvoso (dezembro/2009 a fevereiro/2010) (PC).

Os registros de temperatura do ar e do solo nas profundidades 10 e 30 cm incluíram temperaturas médias, máximas e mínimas. Calculou-se a amplitude térmica pela diferença entre a temperatura máxima e mínima.

O experimento foi conduzido no esquema de parcelas subdivididas. O tratamento primário, geoforma, foi alocado na parcela segundo o delineamento em blocos casualizados. Consideraram-se como blocos, as avaliações mensais, perfazendo um total de três avaliações (repetições) para cada período trimestral. Os tratamentos secundários e terciários, usos do solo (mata, café, eucalipto e pastagem) e períodos (PTCS, PS, PTSC e PC), foram distribuídos nas subparcelas e subsubparcelas, respectivamente. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo o desdobramento das interações realizado segundo sua significância. Nas interações envolvendo dois resíduos, fez-se necessário a composição de um resíduo médio, erro combinado, para que se realizasse o teste de F e as posteriores comparações entre as médias. As comparações foram realizadas por meio do teste de Tukey, adotando-se o nível de significância de 5 %. Nas análises estatísticas foi utilizado o software Sisvar® (Ferreira, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período estudado, entre março/2009 e fevereiro/2010, a precipitação total foi de 1249 mm, com variações mensais como indicado na figura 1. Considerando que o equipamento utilizado fora calibrado para medir a umidade do solo com frequência horária, foram totalizadas 8760 leituras, para cada profundidade, nesse período. As médias apresentadas no quadro 3, associadas ao uso do solo, à geoforma e a profundidade no perfil, resultaram das 8760 leituras indicadas.

Observa-se que, independente do uso do solo, os valores de umidade na geoforma côncava foram superiores aos da geoforma convexa para todas as profundidades, com exceção dos usos mata e eucalipto na profundidade 10 cm. Cabe ressaltar que o comportamento do fluxo de água entre as geoformas é diferente. Na

côncava, há convergência da água de chuva para os pontos registrados. Já, a convexa, reflete divergência e, eventualmente, menor infiltração de água.

Quadro 3. Umidade média do solo determinada no período de março/2009 a fevereiro/2010, considerando o uso do solo, a geoforma e a profundidade no perfil

Uso do Solo	Geoforma	
	Côncava	Convexa
kg kg ⁻¹		
Profundidade 10 cm⁽¹⁾		
Mata	0,215 Db	0,237 Ba
Café	0,294 Aa	0,218 Cb
Eucalipto	0,270 Bb	0,290 Aa
Pastagem	0,242 Ca	0,222 BCb
Profundidade 30 cm⁽¹⁾		
Mata	0,336 Aa	0,278 Ab
Café	0,340 Aa	0,212 BCb
Eucalipto	0,311 Aa	0,252 ABb
Pastagem	0,240 Ba	0,190 Cb
Profundidade 100 cm⁽¹⁾		
Mata	0,378 Aa	0,332 Ab
Café	0,374 Aa	0,223 Bb
Eucalipto	0,213 Ca	0,168 Cb
Pastagem	0,275 Ba	0,180 Cb

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, e pela mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Análise realizada separadamente para cada profundidade no perfil.

A porção mais superficial do solo é mais susceptível à ação antrópica, no caso dos plantios de café e eucalipto, e dos animais, para a pastagem. Assim, eventuais discrepâncias quanto à influência da geoforma na umidade do solo podem, eventualmente, ser atribuídas a outros fatores.

A umidade do solo na profundidade de 10 cm, quando considerado seu uso, não apresenta tendência definida. Na geoforma côncava a maior umidade observada foi no café, seguido pelo eucalipto, pastagem e mata. Na geoforma convexa a maior umidade observada foi para o eucalipto, seguido da mata e do café, sendo que a pastagem assemelhou estatisticamente a estes usos do solo (Quadro 3). Assim sendo, informações

que não foram abordadas neste trabalho seriam necessárias para melhor elucidação, como por exemplo, transpiração e evaporação das espécies e do solo. Não menos importante, a determinação da precipitação efetiva em cada situação de uso e geoforma. Deve destacar-se que a camada mais superficial do solo é a porção sujeita as maiores oscilações de umidade, mesmo que os estudos tenham sido realizados na mesma região geográfica.

Na profundidade 30 cm, para a geoforma côncava os maiores valores de umidade observados foram para mata, café e eucalipto sendo superiores ao uso pastagem. Para a geoforma convexa, a umidade do solo na mata foi superior em relação à pastagem. O comportamento observado seria o esperado tendo em vista o papel da cobertura vegetal, proporcionada pelos usos do solo. A cobertura vegetal, resíduos na superfície e principalmente o efeito de interceptação do dossel das plantas, atua no sentido de reduzir a velocidade do escoamento superficial e, portanto, contribui para aumentar o volume de água infiltrada, resultando em maiores valores de umidade do solo. A presença de vegetação ou de impedimentos ao livre escoamento influencia na contenção do escoamento superficial e proporciona incremento de umidade do solo (Santos et al., 2011).

Para a profundidade 100 cm verifica-se para a mata, independente da geoforma, melhor conserva a umidade em relação aos demais usos do solo, exceto o café na geoforma côncava, com resultados semelhantes aos da mata. Chen et al. (2007) estudaram o efeito de diferentes tipos de vegetação no conteúdo de água no solo de uma região semi-árida na China, os autores relataram que a vegetação nativa apresentou maiores conteúdos de água no solo. Embora, obviamente, não sejam as mesmas condições apresentadas no presente estudo, evidenciam o efeito da vegetação na manutenção da umidade do solo, corroborando os resultados obtidos neste trabalho.

Em contraste, para o eucalipto, observou-se uma redução acentuada da umidade do solo na profundidade de 100 cm para as duas geoformas, sendo semelhante à pastagem na geoforma convexa (Quadro 3). Essa redução pode indicar elevado consumo de água pela cultura, podendo gerar impactos hidrológicos potenciais. Esses resultados indicam menor contribuição de recarga hídrica do eucalipto, provavelmente em consequência de elevada sucção nas camadas mais profundas.

Mielke et al. (1999) relataram que altos valores de déficit hídrico não significam, necessariamente, altos valores de transpiração do dossel. O eucalipto, dentre outras

espécies florestais, é capaz de reduzir a condutância estomática à medida que decresce a disponibilidade de água no solo.

Em contraposição, Neves (2000) indicou que a evapotranspiração do dossel, para o eucalipto, é um ponto a ser considerado. Ele observou elevada evapotranspiração indicando que, quando em condições adequadas de umidade do solo, bem como, de condições nutricionais, o eucalipto é capaz de realizar substanciais transferências de água para a atmosfera. Segundo o autor, a contribuição das camadas de solo para a água transpirada pelo dossel varia com a distribuição de raízes absorventes e com a disponibilidade de água ao longo do perfil do solo. O autor concluiu, ainda, que em média 82,4 % da água transpirada foram provenientes das camadas até 90 cm de profundidade em todo o período por ele estudado. Diante disso, os resultados deste trabalho poderiam estar associados à perda de água do sistema solo-planta para a atmosfera via transpiração.

As determinações efetuadas entre março/2009 e fevereiro/2010 foram agrupadas em quatro períodos trimestrais sequenciais: transição chuvoso-seco (PTCS), seco (PS), transição seco-chuvoso (PTSC) e chuvoso (PC), correspondentes aos períodos de março a maio/2009, junho a agosto/2009, setembro a novembro/2009 e dezembro/2009 a fevereiro/2010, respectivamente. O total de chuva em cada período foi de 331, 68, 340 e 510 mm, respectivamente.

Os histogramas apresentados nas figuras 3, 4, 5 e 6 representam as médias de umidade do solo, nas três profundidades estudadas, para os quatro períodos, em resposta ao uso do solo e à geofoma, côncava ou convexa.

Cronologicamente, o PTCS e o PC apresentaram os maiores valores de umidade para as profundidades analisadas. O PS e o PTSC, como esperado, os menores. Os resultados foram compatíveis com a classificação climática da Zona da Mata Mineira, com verões quentes e chuvosos e invernos secos. Nos períodos de transição posteriores aos períodos chuvoso e seco são detectados valores que indicariam a defasagem entre a precipitação pluvial e a umidade do solo. Os períodos de transição apresentaram valores mais próximos aos períodos definidos que os precederam (Figuras 3 a 6).

Assim, no PTCS observaram-se maiores valores de umidade na profundidade 10 cm em relação aos demais períodos, inclusive ao PC. Em acréscimo, esse período, que antecede o período seco, abrange os meses março, abril e maio, apresentam chuvas de menor intensidade que podem ocasionar acréscimo na infiltração de água no solo.

Segundo Pan et al. (2008), chuvas de alta intensidade podem causar escoamento superficial e, assim, produzir menor incremento de umidade do solo do que chuvas com baixas intensidades, corroborando resultados observados neste trabalho. Entretanto, outros fatores podem ter influenciado no PC estudado: os meses de janeiro e fevereiro de 2010 foram atípicos, com precipitações inferiores às normalmente previstas (Figura 1). Além disso, as maiores temperaturas e radiação solar que incidem na superfície do solo, para o período em questão, podem aumentar a evaporação de água no solo na camada superficial.

De maneira geral, embora se observem variações nos valores de umidade do solo, algumas observações foram semelhantes independentemente do período e da profundidade analisada (Figuras 3 a 6). Considerando as geoformas, a cônica apresentou maiores valores de umidade do solo em relação à geoforma convexa, sendo essa resposta mais pronunciada com a profundidade do solo. Além do comportamento do fluxo de água superficial, já comentado anteriormente, deve-se ressaltar a contribuição do maior movimento subsuperficial de água nas geoformas côncavas.

Nas profundidades 10 e 30 cm, os maiores valores de umidade do solo foram observados ora para a mata, ora para o café, seguidos do uso do solo eucalipto e apresentando menores valores o uso pastagem (Figuras 3 a 6). Entretanto, a umidade do solo para o uso eucalipto na profundidade 100 cm, independente da geoforma e do período estudado, destacou-se negativamente apresentando umidade inferior ao uso pastagem, evidenciando o comportamento observado na interação uso do solo e geoforma (Quadro 3).

Atualmente, a expansão das áreas com plantio de eucalipto tem sido criticada com base em indícios de que a cultura consome água em quantidades elevadas. De acordo com Carneiro et al. (2008), reflorestamentos com árvores de eucalipto ainda é um assunto polêmico no que diz respeito ao consumo de água e sua relação com a produtividade. Com isso, devido à importância econômica dos plantios de eucalipto, além dos esforços no sentido de investigar a contribuição dos componentes do balanço hídrico na produtividade, deve procurar-se ampliar estudos incluindo aspectos ambientais de conservação da água no solo, particularmente importante no que diz respeito aos impactos hidrológicos.

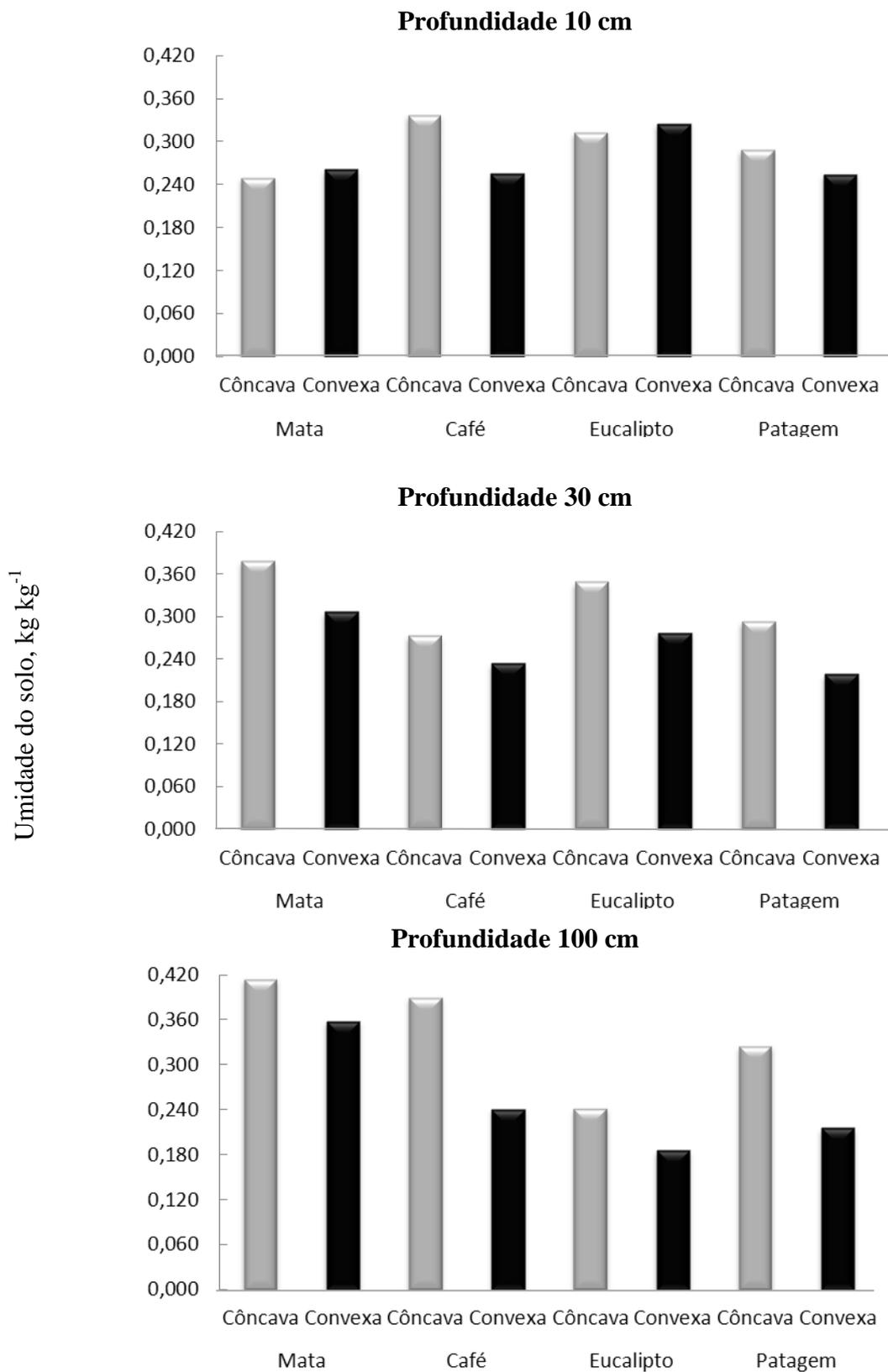


Figura 3. Umidade do solo determinada no período de transição chuvoso-seco (março a maio/2009, precipitação 331 mm), considerando o uso do solo, a geoforma e a profundidade no perfil.

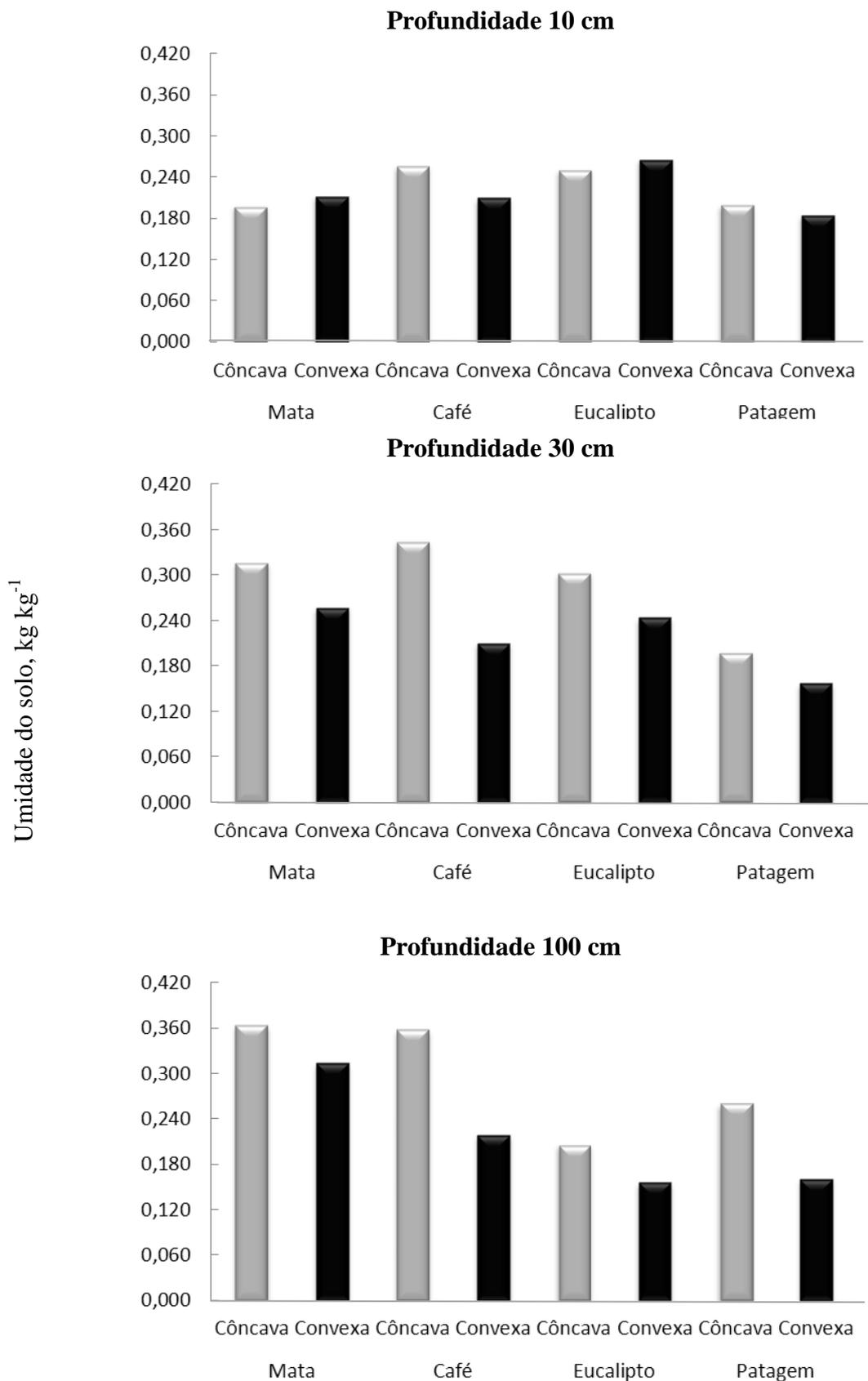


Figura 4. Umidade do solo determinada no período seco (junho a agosto/2009, precipitação 68 mm), considerando o uso do solo, a geomorfo e a profundidade no perfil.

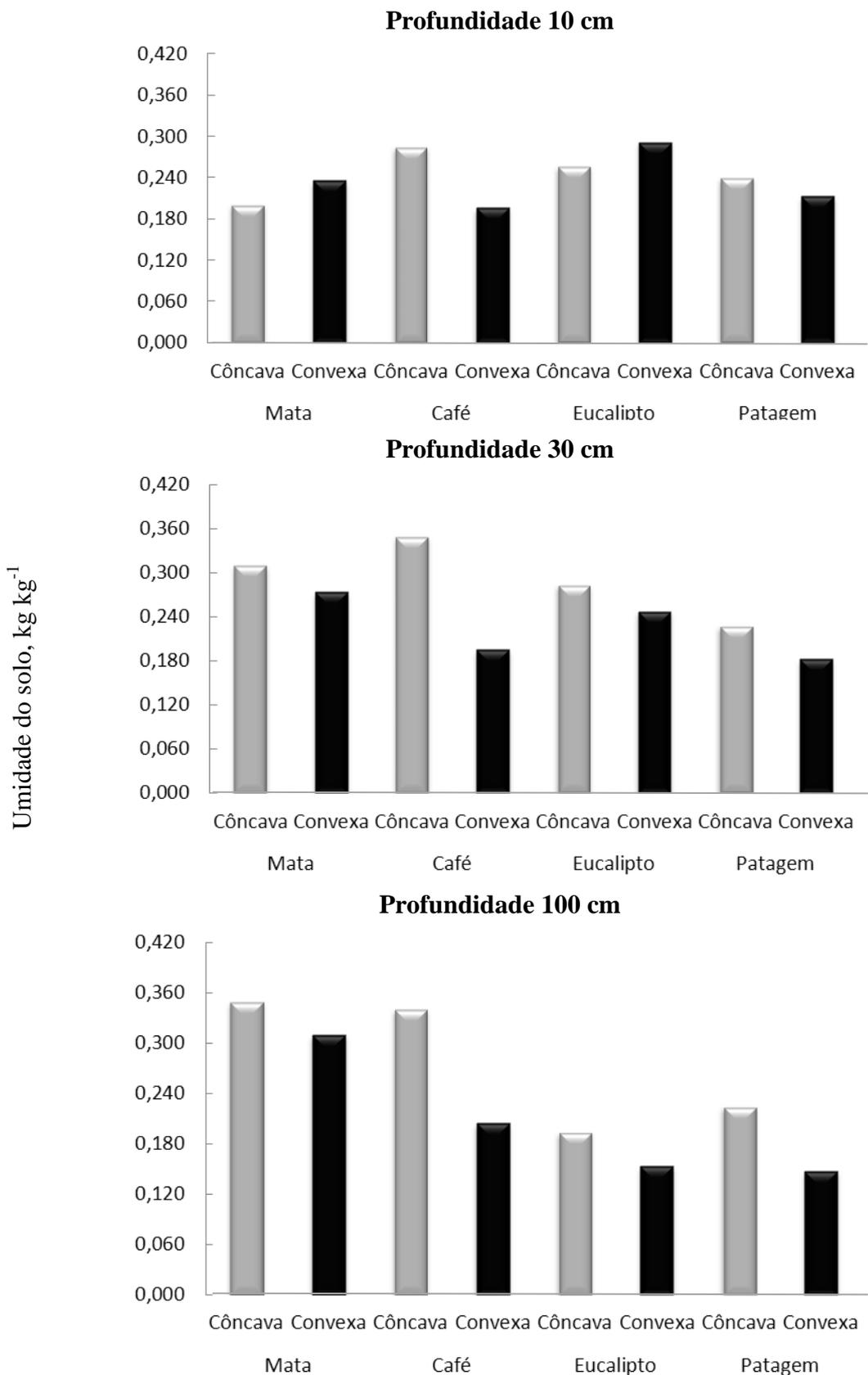


Figura 5. Umidade do solo determinada no período de transição seco-chuvoso (setembro a novembro/2009, precipitação 340 mm), considerando o uso do solo, a geoforma e a profundidade no perfil.

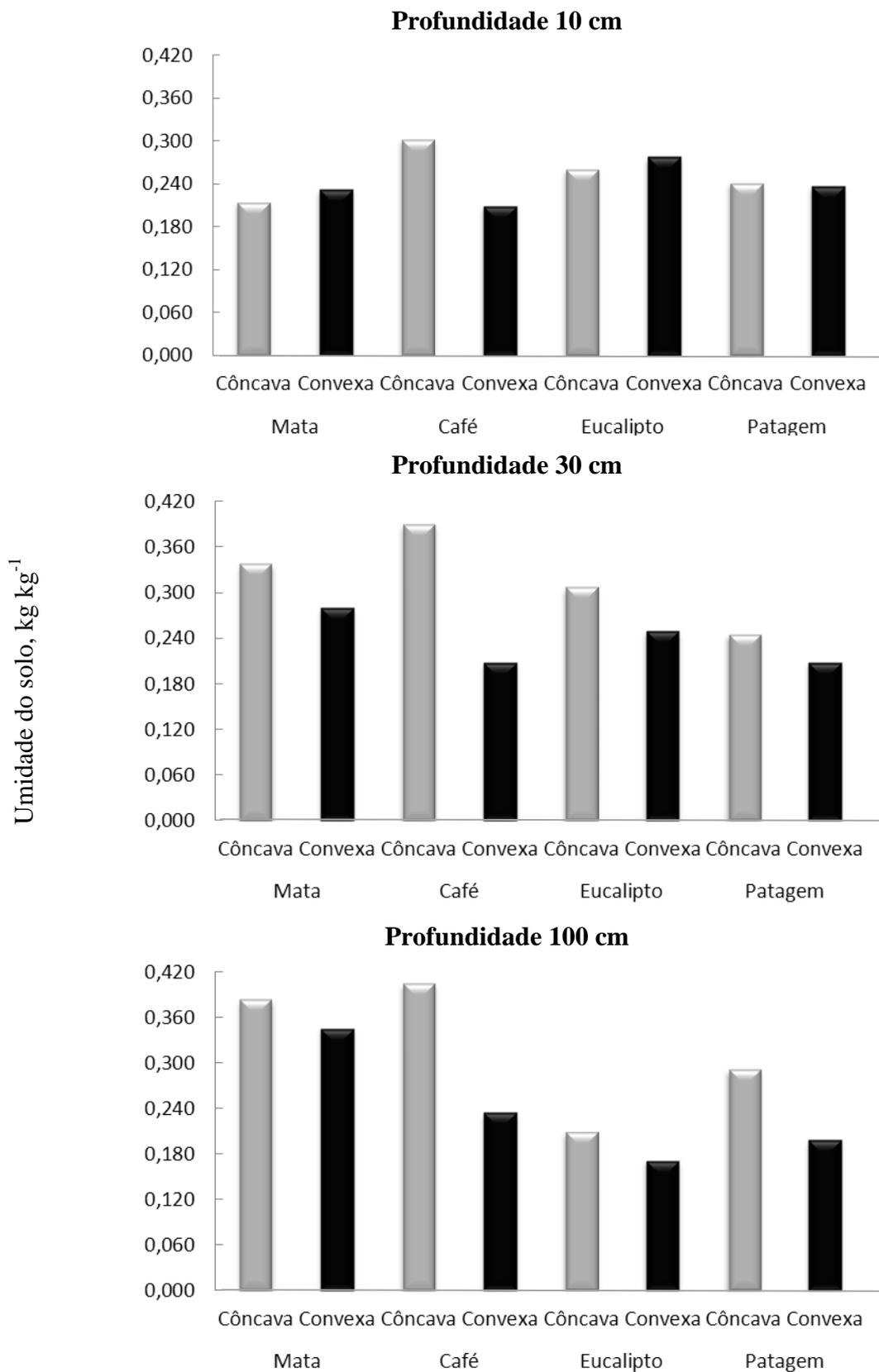


Figura 6. Umidade do solo determinada no período chuvoso (dezembro/2009 a fevereiro/2010, precipitação 510 mm), considerando o uso do solo, a geofoma e a profundidade no perfil.

O monitoramento térmico do solo foi realizado no período compreendido entre março/2009 e fevereiro/2010, registrando-se a temperatura do ar e a temperatura do solo, nas profundidades de 10 e 30 cm. O equipamento utilizado foi calibrado para medir a temperatura com frequência horária, totalizando 8760 leituras para cada uma das três determinações indicadas. No quadro 4 são apresentadas as médias anuais das temperaturas média, máxima e mínima do ar e do solo nas profundidades de 10 e 30 cm. Registram-se também as médias anuais da amplitude térmica para as referidas temperaturas do ar e do solo, considerando o uso do solo e geoforma.

No monitoramento da temperatura do ar foi utilizado um único sensor para cada uso do solo, localizado em posição equidistante entre as duas geoformas. Assim, a informação mostrada no quadro 4 é considerada referência para uso do solo, mas não para a geoforma estudada, côncava ou convexa.

Considerando as determinações apresentadas no quadro 4 e comparando valores registrados para temperatura do ar e do solo, nas duas profundidades, verifica-se que a temperatura média não é variável apropriada na comparação de tratamentos, pois seu cálculo leva a valores próximos, independentemente da amplitude daqueles que deram origem as temperaturas médias calculadas. Assim, a temperatura ambiente média foi de 20,0 °C e a temperatura média do solo de 21,0 °C, independentemente da profundidade de amostragem.

Já a temperatura máxima, a mínima e, principalmente, a amplitude térmica são características adequadas para comparar a resposta às variações de temperatura em ambientes diferenciados (Quadro 4). Observe-se que a amplitude térmica do ar é marcadamente superior à do solo, como resultado das maiores temperaturas máximas e das menores temperaturas mínimas apresentadas. A característica do solo, de amortecer oscilações apreciáveis de temperatura, é claramente mostrada nesses resultados.

Esse aspecto regulador de temperaturas extremas é também evidenciado calculando a relação de amplitude térmica para as duas profundidades de amostragem (Quadro 4). Os valores médios da amplitude térmica para as duas geoformas, côncava e convexa, considerando mata, café eucalipto e pastagem, são de 3,2, 2,6, 2,9 e 6,2 °C, para 10 cm de profundidade, e de 1,7, 1,5, 1,9 e 3,5 °C, para 30 cm de profundidade, respectivamente. As relações indicadas apresentam valores de 1,88, 1,73, 1,53 e 1,77 para mata, café eucalipto e pastagem, respectivamente.

Quadro 4. Temperaturas média (T_{méd}), máxima (T_{máx}) e mínima (T_{min}) e amplitude térmica (AT) do ar, considerando o uso do solo, e temperaturas média (T_{méd}), máxima (T_{máx}) e mínima (T_{min}) e amplitude térmica (AT) do solo, nas duas profundidades de amostragem, considerando o uso do solo e a geoforma (CC: côncava; CV: convexa). Médias anuais calculadas para o período de março/2009 a fevereiro/2010

Uso do Solo	T _{méd}		T _{máx}		T _{min}		AT	
	CC	CV	CC	CV	CC	CV	CC	CV
°C								
Temperatura do Ar⁽¹⁾								
Mata	19,4		26,5		13,2		13,3	
Café	20,2		31,9		12,6		19,3	
Eucalipto	19,8		27,0		14,4		12,6	
Pastagem	20,5		30,6		13,0		17,6	
Temperatura do Solo a 10 cm⁽²⁾								
Mata	19,7 Aa	19,6 Aa	20,9 Ca	21,2 BCa	18,1 Ca	17,7 Db	2,8 Bb	3,5 Ba
Café	20,6 Aa	20,5 Aa	22,0 Ba	21,5 Bb	19,1 Ba	19,3 Ba	2,9 Ba	2,3 Cb
Eucalipto	19,8 Aa	19,8 Aa	21,3 Ca	20,9 Ca	18,3 Cb	18,6 Ca	3,0 Ba	2,3 Cb
Pastagem	23,6 Aa	23,6 Aa	26,0 Ab	27,8 Aa	21,2 Aa	20,4 Ab	4,9 Ab	7,4 Aa
Temperatura do Solo a 30 cm⁽²⁾								
Mata	19,8 Aa	19,8 Aa	20,5 Aa	20,6 Aa	19,0 Aa	18,7 Aa	1,5 Aa	1,9 Aa
Café	20,8 Aa	20,6 Aa	21,5 Aa	21,2 Aa	20,0 Aa	20,0 Aa	1,6 Aa	1,3 Aa
Eucalipto	19,9 Aa	19,9 Aa	21,0 Aa	20,8 Aa	18,9 Aa	19,1 Aa	2,1 Aa	1,7 Aa
Pastagem	23,5 Aa	23,6 Aa	25,2 Aa	25,0 Aa	21,5 Aa	21,7 Aa	3,7 Aa	3,2 Aa

⁽¹⁾ Sensor de temperatura do ar instalado, para cada uso do solo, em local intermediário entre as duas geoformas.

⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, e pela mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os valores superiores à unidade, acima calculados, indicam amplitudes de temperatura superiores na porção mais superficial do solo, resultado que confirma a característica do solo de ser menos sensível às oscilações térmicas. Deve destacar-se que a pastagem, com amplitudes térmicas marcadamente superiores, em resposta à menor cobertura do solo, apresenta relação semelhante às das amplitudes calculadas para os outros usos do solo. Isso indicaria a inconveniência de trabalhar com valores relativos, quando se estudam resposta do solo a variações de temperatura.

Essa aproximação mais qualitativa justifica a ausência de resposta aos tratamentos nas determinações de temperatura realizadas a 30 cm de profundidade (Quadro 4). Tampouco a temperatura média é característica adequada a discutir neste estudo, quando considerado o uso do solo e a geoforma (Quadro 4). A temperatura

média, por ser uma variável proveniente da média de todos os valores diários, diminui a possibilidade de se observar variação dos valores entre os tratamentos.

Os dados discutidos a continuação focalizarão, sempre, as determinações realizadas a 10 cm de profundidade. Observa-se que houve efeito significativo entre usos do solo e geoforma para a temperatura máxima (Quadro 4). Mata e eucalipto no mostraram resposta à geoforma. Já, para o café, a maior temperatura observada foi na geoforma côncava e para a pastagem, a resposta observada foi contrária.

Analisando, dentro de cada geoforma, a temperatura máxima do solo na profundidade 10 cm foi maior no uso pastagem nas duas situações (Quadro 4). Na geoforma côncava, a pastagem foi seguida, sequencialmente, pelo café, eucalipto e mata, os dois últimos sem diferenciação estatística. Na geoforma convexa, a pastagem apresentou novamente a maior temperatura máxima. Ligeiras diferenças foram determinadas para café, mata e eucalipto.

Diante disso, pode-se afirmar que a vegetação atenuou a entrada dos raios solares e tamponou variações maiores nos usos mata, café e eucalipto, independente da geoforma. Os resultados deste trabalho evidenciam a importância da cobertura vegetal como camada dissipadora da radiação solar que chega ao solo, reduzindo as flutuações térmicas do solo (Oliveira et al., 2005), bem como a evaporação da água (Novak et al., 2000) com conseqüente variações térmicas menores.

A temperatura mínima na profundidade 10 cm apresentou, basicamente, o mesmo comportamento da temperatura máxima do solo na profundidade 10 cm (Quadro 4). Observa-se que para o uso café a temperatura mínima na profundidade 10 cm foi semelhante para as duas geoformas, já para os usos mata e pastagem a maior temperatura observada foi na geoforma côncava em relação à convexa e para o uso eucalipto o comportamento observado foi contrário, sendo a temperatura mínima na profundidade 10 cm superior na geoforma convexa.

Na geoforma côncava, a temperatura mínima do solo na profundidade 10 cm foi maior no uso pastagem seguido pelo uso café, eucalipto e mata, semelhantes os dois últimos entre si, conforme comportamento observado também para as temperaturas máximas (Quadro 4). Na geoforma convexa, a pastagem apresentou maiores valores de temperaturas mínimas, seguida pelos demais usos na ordem café, eucalipto e mata.

O comportamento observado, conforme discutido anteriormente, evidencia a importância da cobertura vegetal que protege o solo contra o aquecimento excessivo e a

perda de água por evaporação. De acordo com Dahiya et. al (2007), os efeitos da cobertura do solo são bem conhecidos para reduzir variações de temperatura do solo, além de diminuir a evaporação e de aumentar a umidade do solo e a condutividade hidráulica.

No caso, da amplitude térmica do solo na profundidade 10 cm (Quadro 4), os usos, mata e pastagem, apresentaram maior amplitude térmica na geoforma convexa em relação à côncava. Nos usos café e eucalipto a maior amplitude foi observada para a geoforma côncava, entretanto, os valores apresentaram menor variação. Com isso, pode-se constatar que a geoforma côncava apresenta tendência a apresentar menores valores de temperatura e amplitude térmica, devido provavelmente à menor exposição à incidência da radiação solar em relação à geoforma convexa.

Dentro da geoforma côncava o uso pastagem apresentou maior amplitude térmica em relação aos demais usos, sendo que estes não apresentaram diferenças entre si. Na geoforma convexa, a maior amplitude registrada foi observada, também, para o uso pastagem, seguida da amplitude registrada para a mata e seguida dos usos café e eucalipto que foram similares. A cobertura vegetal funciona como proteção do solo, reduzindo a amplitude térmica. No uso pastagem, devido à ausência de resíduos na superfície e de dossel, permitiu maior incidência de radiação solar na superfície do solo, promovendo assim alta irradiação durante a noite, e por consequência, maior amplitude térmica, em relação aos demais usos avaliados. Larcher (2000) menciona que em vegetação de cobertura fechada o solo é protegido da forte radiação e da perda de energia radiante, o que ocasiona menores variações de temperatura e, por consequência, menores valores de amplitude térmica, conforme observado neste trabalho, para os usos mata, café e eucalipto.

Em se tratando das variáveis de temperatura do solo a 30 cm (Quadro 4), embora observa-se tendência de valores maiores no uso pastagem, independente da geoforma, o efeito do aumento da profundidade no perfil que atenua oscilação térmicas pode mascarar os efeitos provenientes dos usos e das geoformas, evidenciando que a variação de temperatura é mais acentuada na profundidade 10 cm, sendo rapidamente atenuada com o aumento da profundidade.

As figuras 7, 8, 9 e 10 mostram a temperatura do ar e a temperatura do solo nas profundidades de 10 e 30 cm para os quatro períodos trimestrais considerados: PTCS, PS, PTSC e PC, respectivamente. Conforme pode ser observado nas variáveis de temperatura, alguns resultados seriam esperados tendo em vista que esses períodos são

praticamente representativos das estações do ano e considerados climatologicamente característicos. Para Viçosa, o esperado são valores de temperatura média entre 15 °C e 22 °C, conforme observado neste trabalho.

De acordo com Batista & Rodrigues (2010) nos meses de novembro a março são identificadas as maiores médias mensais e no trimestre junho, julho e agosto são registradas as menores temperaturas médias. Quanto às temperaturas mínimas no verão, ficam em torno de 18,4 °C, valor superior ao encontrado neste trabalho. Nos meses de junho a agosto, esperam-se valores variando de 11,1 °C à 11,8 °C. Neste trabalho, as mínimas alcançaram valores inferiores.

As maiores temperaturas máximas registradas para Viçosa correspondem ao período do verão, ficando em torno de 29,0 °C (Batista & Rodrigues, 2010). Nos demais meses do ano a temperatura máxima tendem a ser menor, o que corrobora com os valores encontrados neste estudo, com exceção dos registros para o café. Para mata e eucalipto, as maiores temperaturas máximas do ar foram registradas nos períodos de PTSC e PC, sendo superiores aos demais períodos. Esses resultados já eram esperados tendo em vista as maiores temperaturas que ocorrem na primavera e no verão.

Para o uso café, com exceção no PC, as temperaturas máximas observadas chamam atenção, pois no PTCS foi superior inclusive à pastagem. O café utilizado neste estudo corresponde à lavoura a pleno sol. Assad et al. (2004) estimam que, nos cenários atuais, considerando um aumento de até 5,8 °C na temperatura média anual do globo, o cultivo do café arábica, em Minas Gerais, será drasticamente reduzido nos próximos 100 anos. Sob este aspecto, a proposta de cultivos sombreados, o café associado com espécies arbóreas, mostra-se como alternativa favorável para atenuar as ocorrências climáticas extremas e proporcionar maior sustentabilidade as lavouras cafeeiras. Valentini et al. (2010), na região de Mococa, São Paulo, observaram temperaturas máximas do ar elevadas, 39 °C no verão e 32,1 °C no outono, em lavouras cafeeiras. Entretanto, nas lavouras cafeeiras sombreadas com seringueira, esses autores, observaram redução da temperatura máxima em até 3 °C durante os dias mais quentes, especialmente durante a primavera e verão que correspondem aos estádios fenológicos críticos da floração e da frutificação.

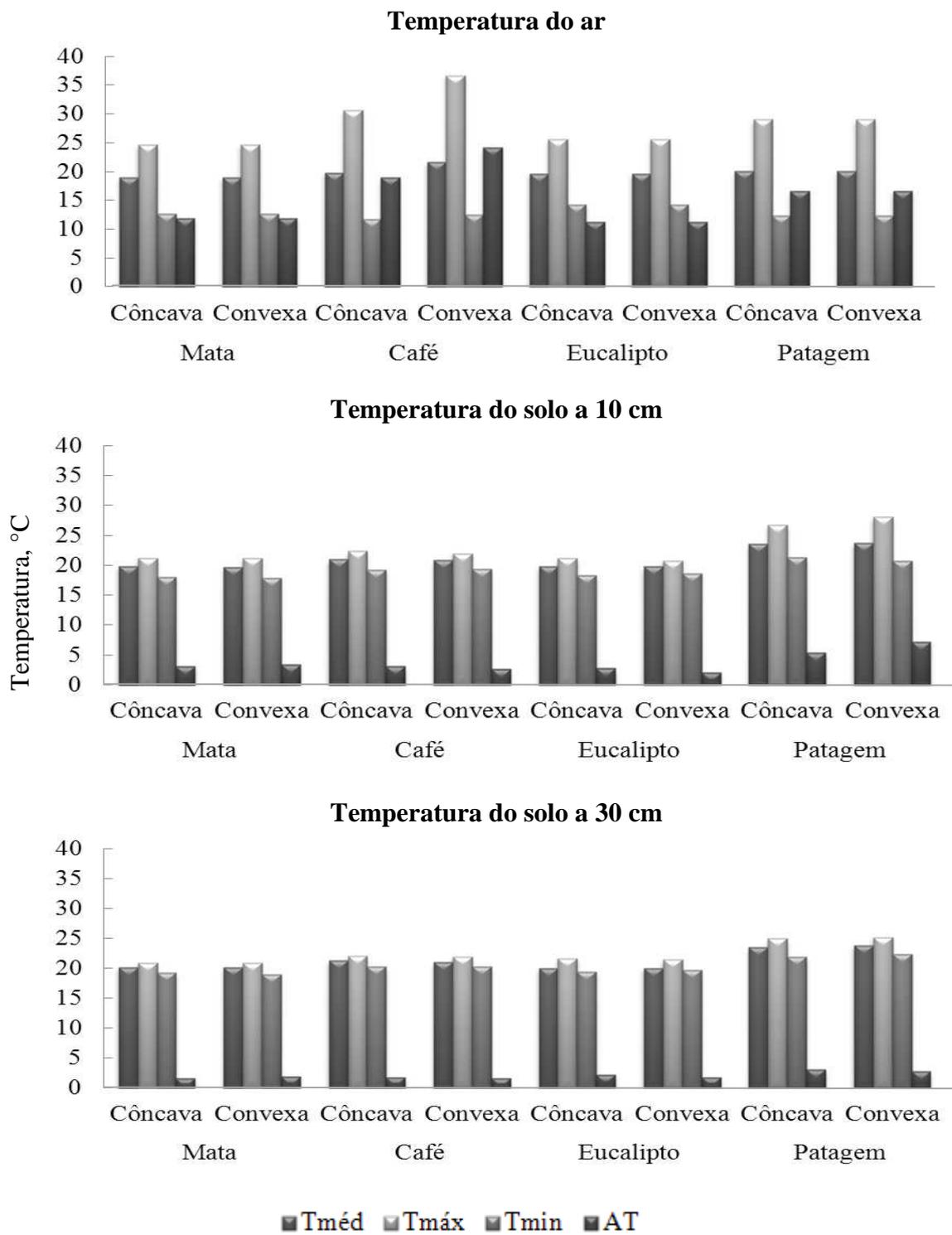


Figura 7. Temperaturas média (Tméd), máxima (Tmáx) e mínima (Tmin) e amplitude térmica (AT) do ar e do solo determinadas no período de transição chuvoso-seco (março a maio/2009), considerando o uso do solo e a geofoma.

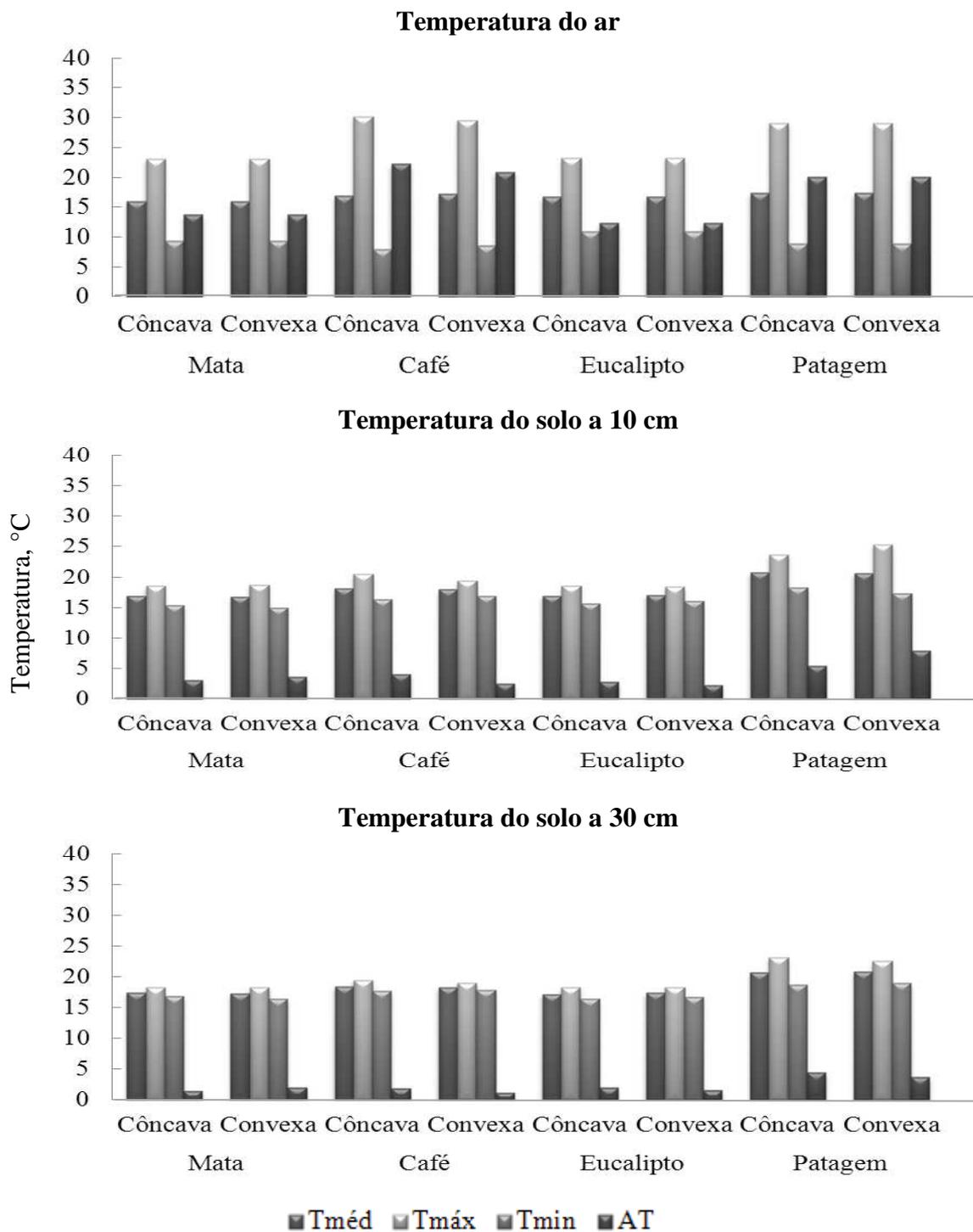


Figura 8. Temperaturas média (Tméd), máxima (Tmáx) e mínima (Tmin) e amplitude térmica (AT) do ar e do solo determinadas no período seco (junho a agosto/2009), considerando o uso do solo e a geoforma.

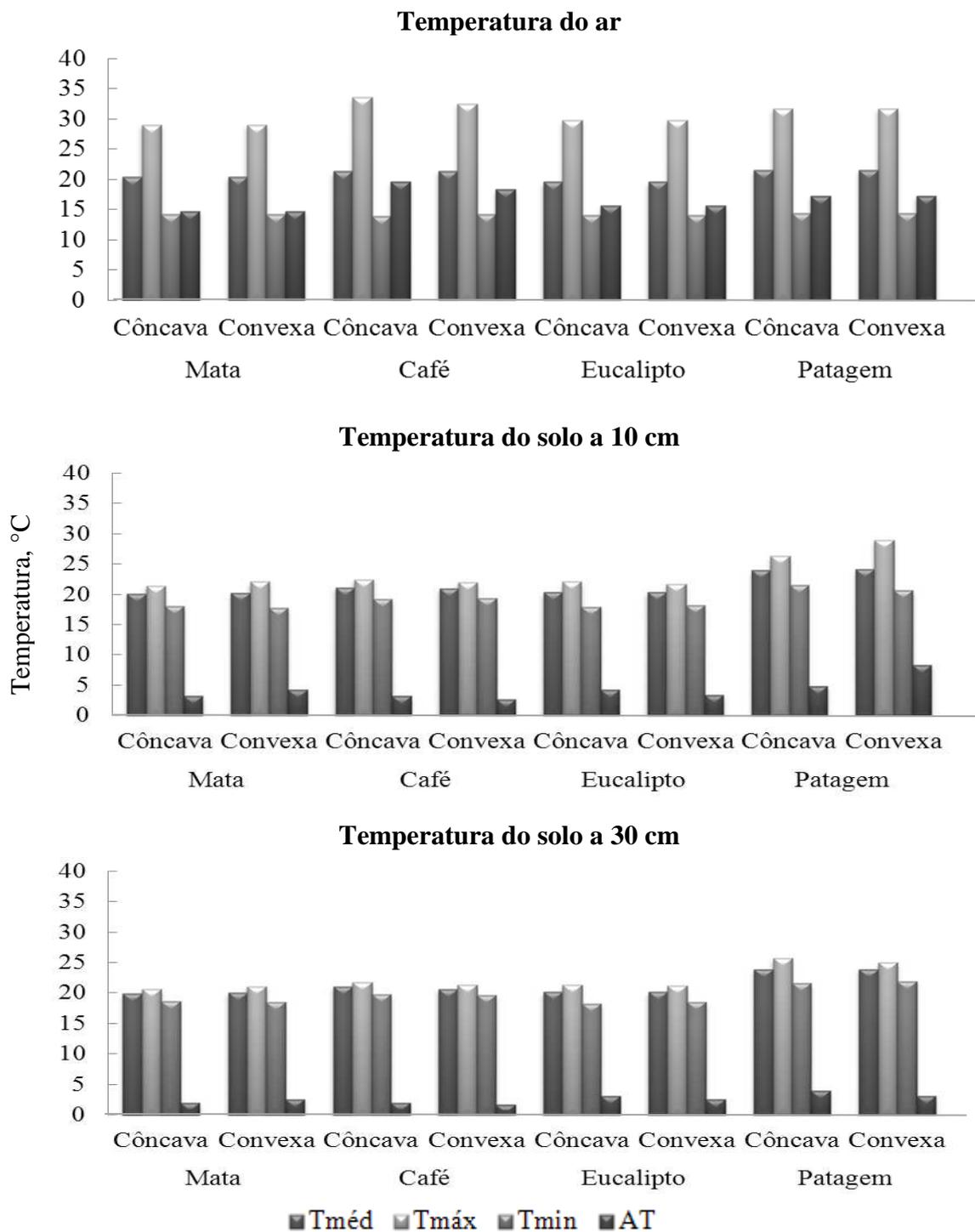


Figura 9. Temperaturas média (Tméd), máxima (Tmáx) e mínima (Tmin) e amplitude térmica (AT) do ar e do solo determinadas no período de transição seco-chuvoso (setembro a novembro/2009), considerando o uso do solo e a geoforma.

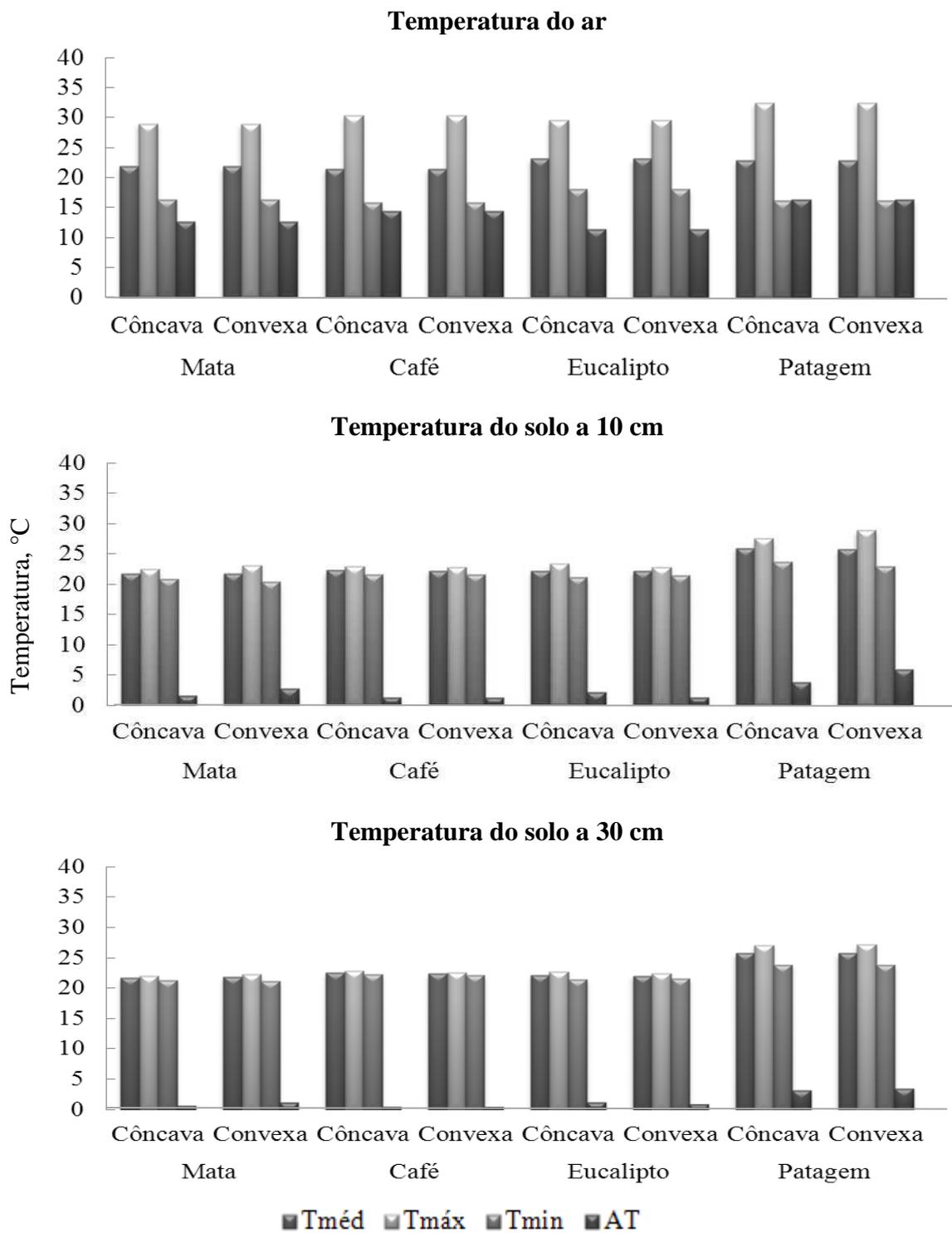


Figura 10. Temperaturas média (Tméd), máxima (Tmáx) e mínima (Tmín) e amplitude térmica (AT) do ar e do solo determinadas no período chuvoso (dezembro/2009 a fevereiro/2010), considerando o uso do solo e a geoforma.

Recentemente, nota-se a crescente substituição de lavouras cafeeiras a pleno sol por lavouras sombreadas. Embora no Brasil sejam conhecidas como pouco produtivas, essa prática tem se mostrado promissora. O clima úmido com temperaturas amenas proporcionado, neste caso, pela arborização, é mais favorável ao café (Thomaziello, 2000). De acordo com Fazuoli et al. (2007) e Camargo (2010), o uso da arborização seria uma das práticas de mitigação para os cenários de aquecimento global e seus efeitos na cafeicultura.

Os resultados de temperaturas do solo na profundidade 10 e 30 cm demonstram que, independentemente do período analisado, as variáveis de temperatura correspondentes aos usos do solo apresentam respostas semelhantes, sem diferenças entre mata, café e eucalipto (Figuras 7, 8, 9 e 10). Todavia a pastagem, com indícios de degradação, mostrou valores superiores de temperatura do solo e de amplitude térmica, como esperado. Na mata, café e eucalipto, a cobertura vegetal promoveu redução da amplitude térmica, principalmente pela redução das temperaturas máximas e pelo incremento da temperatura mínima. A presença de cobertura vegetal ocasiona menor aquecimento do solo durante o dia e menor resfriamento durante a noite, devido à interceptação da radiação incidente na superfície do solo atenuando extremos térmicos.

A vegetação é importante receptor e armazenador de radiação solar, o que ocorre devido à absorção de energia incidente pelo sistema solo-planta (Jarvis et al., 1997). Deste modo, os resultados observados neste trabalho evidenciam a importância da cobertura vegetal na redução dos valores de temperatura do solo ocasionando, assim, ambiente mais ameno para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Com isso, e, tendo em vista que 70 % das pastagens da Zona da Mata Mineira apresentam algum grau de degradação, a recuperação das pastagens é de grande relevância, visando o restabelecimento da cobertura do solo e do vigor das plantas forrageiras, com intuito de se obter ganhos ambientais e econômicos na pecuária.

A redução da amplitude térmica discutida anteriormente, inclusive para o uso pastagem, foi mais pronunciada nos PTSC e PC devido ao maior conteúdo de água no solo, proveniente dos períodos em questão (Figura 3 e 6). Nos demais períodos, PS e PTCS, devido ao fato do solo encontrar-se mais seco, menor quantidade da energia proveniente da radiação solar é utilizada para evaporar água, ocorrendo um aumento na temperatura do solo e redução da condutividade do calor para camadas profundas do perfil do solo, o que resulta em maior aquecimento da camada mais superficial.

A 30 cm a resposta das variáveis de temperatura do solo foi semelhante à profundidade 10 cm para os usos do solo e para os períodos estudados. Porém, com o aumento da profundidade notam-se menores oscilações térmicas. Assim, os resultados evidenciam que a variação de temperatura é mais acentuada na profundidade 10 cm e é rapidamente atenuada com o aumento da profundidade. Isto, em parte é explicado, pois uma fração do saldo de radiação é absorvida pela superfície do solo, conseqüentemente, ocorre elevação da temperatura do solo na profundidade 10 cm. Este aumento ocasiona gradiente térmico no interior do solo, isto é, haverá transferência de energia da superfície para o interior do solo.

CONCLUSÕES

1. A umidade, determinada a 10, 30 e 100 cm de profundidade, mostrou a defasagem entre a precipitação pluvial e o conteúdo de água, com resposta mais demorada no solo, devido à infiltração de água no perfil. Os períodos de transição apresentaram valores mais próximos aos períodos definidos que os precederam chuvoso ou seco.
2. Independente do uso do solo, os valores de umidade na geoforma côncava foram geralmente superiores aos da geoforma convexa para todas as profundidades. O fluxo de água entre as geoformas é diferente, na côncava há convergência da água de chuva para os pontos registrados e a convexa reflete divergência e, eventualmente, menor infiltração de água.
3. A umidade na porção mais superficial do solo, determinada a 10 cm, não apresentou tendência definida em resposta ao uso do solo. Essa profundidade é mais susceptível à ação antrópica, no caso dos plantios de café e eucalipto, e dos animais, para a pastagem.
4. Na profundidade 30 cm, os menores valores de umidade foram observados na pastagem. A resposta observada é coerente com o papel da cobertura vegetal, com resíduos na superfície e a interceptação do dossel das plantas, que diminui a velocidade do escoamento superficial e contribui para incrementar a infiltração.

5. Houve redução acentuada da umidade do solo no eucalipto, na profundidade de 100 cm. Essa redução pode indicar elevado consumo de água pela cultura, podendo gerar impactos hidrológicos potenciais.
6. Variáveis de temperatura, determinadas no ar e no solo, nas profundidades de 10 e 30 cm, mostraram que a amplitude térmica é a variável mais indicada nesses estudos. A temperatura do ar foi marcadamente superior à do solo, como resultado das maiores temperaturas máximas e das menores temperaturas mínimas apresentadas.
7. No solo, a maior amplitude térmica foi na porção mais superficial, resultado que confirma a característica do solo de ser menos sensível às oscilações térmicas. Deve ser destacado que a pastagem mostrou a maior amplitude térmica, em resposta à menor cobertura do solo. Não houve tendência definida da influencia da geoforma para a amplitude térmica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M.E.B. Disponibilidade e demanda hídrica na produtividade da cultura do eucalipto. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2009. 136p. (Tese de Doutorado)
- ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J. & ÁVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesq. agropec. bras.*, 39:1057-1064, 2004.
- BATISTA, M.S. & RODRIGUES, R.A. Análise climática de Viçosa associada à ocorrência de eventos pluviométricos extremos. *Caminhos de Geografia*, 11:52-67, 2010.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. ed. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p.363-375.
- BLASZCZYNSKI, J.S. Landform characterization with Geographic Information Systems. *Photogrammetric Eng. Rem. Sens.*, 63:183-191, 1997.
- BRAIDA, J.A. & CASSOL, E.A. Relações de erosão em entressulcos com o tipo e a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:711-721, 1999.
- CAMARGO, M.B.P. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia*, 69:239-247, 2010.
- CARNEIRO, R.L.C.; RIBEIRO, A.; MARTINEZ Y HUAMAN, C.A.; LEITE, F.P.; SEDIYAMA, G.C. & BARROS, N.F. Consumo de água em plantios de eucalipto: parte 1 determinação da condutância estomática em tratamentos irrigado e não-irrigado. *R. Árvore*, 32:1-10, 2008.

- CHEN, L.; HUANG, Z.; GONG, J.; FU, B. & HUANG, Y. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the loess plateau, China. *Catena*, 70:200-208, 2007.
- DAHIYA, R.; INGWERSEN, J. & STRECK, T. The effect of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: Experimental findings and modeling. *Soil Till. Res.*, 96:52-63, 2007.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KÖPKE, U. Importância da rotação de culturas. In: DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn, GTZ/IAPAR, 1991. p.147-164.
- DOMISCH, T.; FINER, L. & LEHTO, T. Effects of soil temperature on biomass and carbohydrate allocation in Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings at the beginning of the growing season. *Tree Physiol.*, 21:465-472, 2001.
- FAZUOLI, L.C.; SILVAROLA, M.B., SALVA, T.J.G.; GUERREIRO FILHO, O.; MEDINA FILHO, H.P. & GONÇALVES, W. Cultivares de café arábica do IAC: Um patrimônio da cafeicultura brasileira. *O Agrônomo*, 59:12-15, 2007.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *R. Symposium*, 6:36-41, 2008.
- GARDNER, W.H. Water Content. In: KLUTE, A., ed. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p.377-382.
- HILLEL, D. *Environmental soil physics*. San Diego, Academic Press, 1998. 771p.
- JARVIS, P.G.; MASSHERDER, J.M.; HALE, S.E.; MONCRIEFF, J.B.; RAYMENT, M. & SCOTT, S.L. Seasonal variation of carbon dioxide, water vapor, and energy exchanges of a boreal black spruce forest. *J. Geophys. Res.*, 102:953-966, 1997.
- LARCHER, W. *Ecologia vegetal*. São Paulo, RiMa, 2000. 531p.
- MARTORANO, L.G.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; FARIA, R.T.; MIELNICZUK, J. & COMIRAN, F. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 13:397-405, 2009.
- MIELKE, M.S.; OLIVA, M.A.; BARROS, N.F.; PENCHEL, R.M.; MARTINEZ, C.A. & ALMEIDA, A.C. Stomatal control of transpiration in the canopy of clonal *Eucalyptus grandis* plantation. *Trees*, 13:152-160, 1999.
- NEVES, J.C.L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Campos dos Goytacazes, RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. (Tese de Doutorado)
- NOVAK, M.; CHEN, W. & HARES, M. Simulating the radiation distribution within a barley straw mulch. *Agr. Forest Meteorol.*, 102:173-186, 2000.
- OLIVEIRA, M.L.; RUIZ, H.A.; COSTA, L.M. & SCHAEFER, C.E.G.R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 9:535-539, 2005.
- PAN, Y.X.; WANG, X.P.; JIA, R.L.; CHEN, Y.W. & HE, M.Z. Spatial variability of surface soil moisture content in a re-vegetated desert area in Shapotou, Northern China. *J. Arid Env.*, 72:1975-1683, 2008.

- REICHARDT, K. & TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. São Paulo, Manole, 2004. 478p
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). R. Bras. Ci. Solo, 29:297-300, 2005.
- SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A. & SILVA, D.D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, 15:670-679, 2011.
- THOMAZIELLO, R.A.; FAZUOLI, L.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; FAHL, J.I. & CARELLI, M.L.C. Café arábica: cultura e técnica de produção. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico, 2000. 13p.
- TREVISAN, R.; HERTER, F.G. & PEREIRA, I.S. Variação da amplitude térmica do solo em pomar de pessegueiro cultivado com aveia preta (*Avena sp.*) e em sistema convencional. R. Bras. Agroci., 8:155-157, 2002.
- VALENTINI, L.S.P.; CAMARGO, M.B.P.; ROLIM, G.S.; SOUZA, P.S. & GALLO, P.B. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizados com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. Bragantia, 69:1005-1010, 2010.
- VOOS, M. & SIDIRAS, N. Nodulação da soja em plantio direto em comparação com plantio convencional. Pesq. agropec. bras., 20:775-782, 1985.

CAPÍTULO II

PERDAS DE ÁGUA E SOLO EM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM RESPOSTA AO USO DO SOLO E À GEOFORMA

RESUMO

SOUZA, Fabiana Silva de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011.

Perdas de água e solo em Latossolo Vermelho Amarelo em resposta ao uso do solo e à geoforma. Orientador: Hugo Alberto Ruiz. Co-orientadores: Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Raphael Bragança Alves Fernandes e Demetrius David da Silva.

A erosão hídrica tem sido considerada a forma mais importante de degradação dos solos tropicais. É frequente, processa-se com rapidez e causa elevados prejuízos ao setor agrícola, principalmente quando acelerada pela ação antrópica. Com objetivo de avaliar a influência do uso do solo (mata, plantio de café, plantio de eucalipto e pastagem) e da geoforma (côncava e convexa) nas perdas de água e solo, em condições de chuva natural, no período de março de 2009 a fevereiro de 2010, instalaram-se unidades experimentais de 11,0 m de comprimento e 3,5 m de largura em Latossolo Vermelho Amarelo, localizado em microbacia do município de Viçosa, MG. O volume de água escoado na parcela foi captado em caixa com vertedor triangular e quantificado por meio de linígrafo automático com sensor de pressão. A perda de solo foi determinada pelo método direto, usando caixa coletora de sedimentos. Considerando a necessidade de chuva em volume e intensidade apreciáveis para contar com escoamento superficial e a necessidade desse escoamento para provocar erosão hídrica, quantidades elevadas de sedimentos foram carregadas em associação com os maiores valores de escoamento nas parcelas experimentais, com coeficientes de correlação linear no intervalo entre 0,781 e 0,989, considerando períodos mensais entre março/2009 e fevereiro/2010. As perdas de água acumuladas no período foram: pastagem > café \approx eucalipto >> mata. A presença do dossel e dos resíduos vegetais na mata, no café e no eucalipto diminui a velocidade do escoamento superficial e contribui para incrementar a infiltração de água no solo. As perdas de solo acumuladas no período foram eucalipto >> café > pastagem >> mata, resposta coerente com o revolvimento do solo nos cultivos de eucalipto e café e com a maior compactação superficial na pastagem, em resposta ao pisoteio dos animais. Em relação às geoformas, os resultados indicaram maiores perdas de água e solo na geoforma convexa. O fluxo de água entre as geoformas é diferente, na convexa há

divergência da água de chuva e, geralmente, menor infiltração e na cônica, pelo contrário, há convergência da água de chuva.

Palavras chave: erosão hídrica, sedimento, escoamento superficial.

ABSTRACT

SOUZA, Fabiana Silva de, D.Sc., Federal University of Viçosa, July 2011. **Water and soil losses in a Red Yellow Latosol in response to land use and landforms.** Advisor: Hugo Alberto Ruiz. Co-advisors: Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Raphael Bragança Alves Fernandes e Demetrius David da Silva.

Water erosion has been considered the most important form of tropical soils degradation. It is frequent, proceeds rapidly and causes heavy losses to the agricultural activity, especially when accelerated by human action. In order to evaluate the influence of land use (forest, coffee, eucalyptus and pasture) and landform (concave and convex) on soil and water losses, under natural rainfall, between March/2009 and February/2010, 11.0 m long and 3.5 m wide experimental units were settled in a Red Yellow Latosol, in Viçosa, MG. The water flowing in the parcel was quantified with a Thalimedes shaft encoder with data logger. Soil loss was determined by a direct method, using a sediment collector box. Considering the need for rain in appreciable volume and intensity to rely on runoff and necessity of runoff to cause soil erosion, large amounts of sediment were loaded associated with the highest flow in the experimental plots. Linear correlation coefficients, in the range between 0.781 and 0.989, were determined to relate those variables. Total water losses during the period were: pasture > coffee \approx eucalyptus \gg forest. The presence of the canopy and surface residues in forest, coffee and eucalyptus slows runoff and helps to increase water infiltration into the soil. Total soil losses were: eucalyptus \gg coffee > pasture \gg forest. Those results were associated to soil disturbance in eucalyptus and coffee due to field work and to surface compaction in pasture in response to animal trampling. Regarding landforms, results indicated higher water loss and soil in convex landform. The water flow between landforms is different, the convex causes divergence of rainwater and usually less water infiltration, and the concave, on the contrary, causes convergence of rainwater.

Keywords: erosion, sediment, surface runoff.

INTRODUÇÃO

A expansão das áreas agrícolas devido ao crescente aumento da demanda por alimentos tem sido associada a impactos socioeconômicos e ambientais diversos. Dentre estes, a modificação do uso do solo tem sido responsável por um dos principais fatores limitantes da atividade agrícola mundial, a erosão, com a consequente produção de sedimentos (Minella et al., 2007). Embora a erosão do solo seja um processo natural, a ação antrópica o acelera, resultando na redução da capacidade produtiva dos solos e na degradação ambiental (Sharma et al., 2011).

A erosão hídrica tem sido considerada como a forma mais importante de degradação do solo. É mais frequente, processa-se com maior rapidez e causa elevados prejuízos ao setor agrícola, a outras atividades econômicas e ao próprio meio ambiente (Weill & Sparovek, 2008). Acelerada pela ação antrópica é a principal causa de degradação dos solos tropicais (Cogo et al., 2003). O problema é acentuado quando os solos se tornam mais susceptíveis, principalmente pela redução da cobertura vegetal (Inácio et al., 2007; Bezerra & Cantalice, 2006; Cantalice et al., 2009).

A ação das gotas de chuva que atingem o solo constitui a primeira etapa do processo erosivo. A desagregação das partículas do solo na superfície é provocada pela energia do impacto das gotas da chuva e pela força cisalhante do escoamento superficial. O escoamento superficial é a fase do ciclo hidrológico mais diretamente associada à erosão hídrica, atuando diretamente no transporte dos sedimentos.

A vegetação pode mitigar os efeitos da erosão pela cobertura oferecida pelo dossel, que age interceptando as gotas da chuva, pela cobertura em contato direto com a superfície do solo, que dissipa a energia cinética da chuva, e pela incorporação de resíduos vegetais, que reduz a desagregação e transporte de sedimentos erodidos (Foster, 1982; Cogo et al., 1983; Castro et al., 2006).

Com cobertura parcial, a superfície do solo fica menos protegida da ação conjunta das gotas da chuva e do escoamento superficial e, quando isso coincide com períodos de chuva de elevada erosividade, os riscos de erosão aumentam.

A topografia também influencia o processo erosivo. Desta forma, a declividade do terreno, o comprimento de rampa e a forma da encosta podem influenciar a velocidade, o volume e a concentração de partículas em suspensão no escoamento (Pruski, 2006). O efeito da declividade no processo erosivo é evidenciado por sua relação com a energia cinética do escoamento superficial (Grosh & Jarret, 1994; Amorim et al., 2001). Entretanto, estudos de campo que avaliem o efeito da forma da encosta no processo erosivo são incipientes.

A forma da encosta é um atributo de paisagem importante em relação ao processo erosivo contribuindo para a instabilidade de áreas de produção agrícola. Influencia o fluxo de água, o transporte de sedimentos e poluentes, a natureza e a distribuição do habitat de plantas e animais, além de ser uma expressão dos processos geológicos e de intemperismo (Blaszczynski, 1997). Assim sendo, as geoformas côncava e convexa apresentam características que podem causar comportamentos distintos relativos ao processo erosivo. Portanto, o estudo da influência das formas de relevo no escoamento da água sobre o terreno em diferentes trajetórias é importante para o entendimento e a quantificação da erosão e da variabilidade dos principais atributos dos solos (Sanchez et al., 2009), que podem ainda interferir na produtividade das culturas (Sparovek & Schung, 2001).

Embora reconhecido como um problema grave e generalizado, a degradação dos solos tropicais pela erosão hídrica exige estudos regionais que considerem as condições edafoclimáticas mais representativas e o conhecimento dos fatores que influenciam a erosão. Na região da Zona da Mata de Minas Gerais, por exemplo, não há relatos quantitativos que demonstrem o comportamento do processo erosivo em decorrência do uso do solo e da forma da encosta. Como alternativa para a melhor compreensão do fenômeno, o uso de parcelas experimentais pode permitir que estudos sejam realizados em condições controladas de campo em termos de limites do terreno, declividade e tipo de solo.

Dentro desse contexto, este trabalho visa avaliar a influência do uso do solo (mata, plantio de café, plantio de eucalipto e pastagem) e da geoforma (côncava e convexa) nas perdas de água e solo, em condições de chuva natural, no período de março de 2009 a fevereiro de 2010, em Latossolo Vermelho Amarelo localizado em microbacia do município de Viçosa, Zona da Mata de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em área pertencente à microbacia do córrego Santa Catarina, afluente do Ribeirão São Bartolomeu, município de Viçosa, Zona da Mata de Minas Gerais, delimitada pelas coordenadas 20° 43' e 20° 51' S e 42° 50' e 42° 56' O, com altitude média de 690 m. O clima da região enquadra-se na classificação Cwb de Köppen, ou seja, mesotérmico com verões quentes e chuvosos e invernos frios e secos. A precipitação pluviométrica média anual é de 1221,4 mm, com período chuvoso de outubro a março. A umidade relativa média anual do ar varia de 80 a 85 % e a temperatura média anual é de 19,4 °C. O uso do solo é formado basicamente por área agrícola e florestal.

As unidades experimentais foram selecionadas de acordo com o uso do solo e a geoforma (Quadro 1), apresentando declive médio de 0,12 m m⁻¹ ±0,003 m m⁻¹ e orientadas no sentido leste-oeste. O solo, em todas as unidades experimentais, foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. Os usos selecionados, café, eucalipto e pastagem, são as formas mais comuns de ocupação do solo na Zona da Mata mineira. Para fins de comparação considerou-se, como referência, uma reserva de Mata Atlântica secundária, com fragmento de aproximadamente 200 ha. Em todas as situações selecionou-se uma geoforma côncava e uma convexa, totalizando oito unidades experimentais. O número de unidades experimentais foi limitado pela especificidade e custo dos equipamentos utilizados no estudo

Quadro 1. Descrição e histórico das áreas estudadas

Uso do Solo	Geoforma	Histórico
Mata	Côncava Convexa	Área de Mata Atlântica secundária
Café	Côncava Convexa	Cultivar 'Catuaí vermelho' implantado oito anos antes do ensaio, em curva de nível, espaçamento 2 x 2,5 m
Eucalipto	Côncava Convexa	Eucalyptus grandis, implantado cinco anos antes do ensaio, com espaçamento 3 x 1 m
Pastagem	Côncava Convexa	Pastagem degradada de Brachiaria decumbens

As parcelas experimentais foram dispostas no sentido do declive. As dimensões das parcelas foram de 11,0 m de comprimento e 3,5 m de largura, delimitadas nas laterais e extremidade superior por chapas galvanizadas de 20 cm de altura, cravadas 10 cm no solo. Na extremidade inferior foi instalada uma calha para direcionamento do escoamento, canalizado por meio de tubos de PVC para caixas coletoras do sedimento e da água (Figura 1).

Na área do estudo foi instalado um sensor pluviométrico modelo SP-3 Seba, conectado a um sistema automatizado de aquisição de dados para registro da quantidade e da duração da chuva. Para determinação da lâmina precipitada na parcela foi instalado um pluviômetro Ville de Paris com a área de captação da precipitação posicionada em plano horizontal com 1,5 m de altura da superfície do solo.

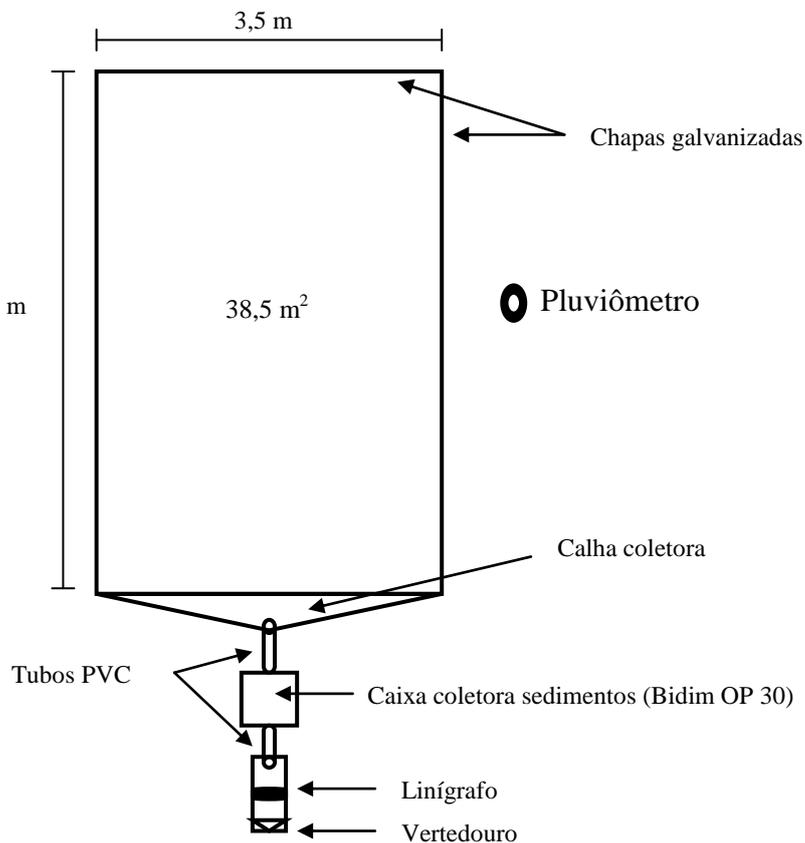


Figura 1. Diagrama da parcela experimental, composta pelo sistema coletor de sedimento e escoamento superficial.

A perda de solo foi determinada pelo método direto (Bertoni & Lombardi Neto 1990). Na caixa coletora de sedimento foi instalada uma armação de tela plástica perfurada para suporte de uma manta sintética de alta permeabilidade (Bidim OP30), usada para coletar o material transportado pelo escoamento superficial (Figura 2). O sedimento, retido na extremidade inferior (calha) e na manta, foi coletado a cada 10 dias, sendo a manta retirada e substituída e o material coletado na calha quantificado, após secagem em estufa a 60 °C por 48 h.

O volume de água escoado na parcela foi captado em caixa com vertedor triangular (Figura 3). Nesta caixa foi mantida lâmina de água de 22 cm, correspondente a altura do fundo da caixa ao vértice do vertedor, sendo a variação na altura desta lâmina utilizada para indicar a entrada de água na caixa, por meio de linígrafo automático com sensor de pressão modelo MDS DIPPER-3 Seba. O volume de água escoado foi obtido por meio da calibração entre a altura da lâmina de água registrada pelo linígrafo (Figura 3) e a vazão escoada pelo vertedor. Esta calibração foi realizada em laboratório com amplo intervalo de variação da lâmina, obtendo-se assim, ajuste polinomial com coeficiente de determinação (R^2) de 0,99 entre a vazão escoada pelo vertedor e a lâmina registrada.

A altura da lâmina de água foi registrada em intervalos de leitura de 1 min, sendo os dados coletados a cada 10 dias. O software WBedien32 Seba foi utilizado para programação dos linígrafos e coleta de dados. A lâmina do escoamento superficial, referente à perda de água, foi calculada pela relação entre o volume de água escoado e a área da parcela experimental.



Figura 2. Caixa coletora de sedimento e manta com sedimento coletado na parcela experimental.



A



B

Figura 3. Caixa coletora de água com vertedor triangular na parcela experimental (A) e linígrafo utilizado no estudo (B).

As avaliações das perdas de água e solo foram realizadas entre março de 2009 e fevereiro de 2010, quantificadas com base na área de cada parcela experimental e extrapoladas para a unidade de superfície hectare. A precipitação total no período de avaliação foi de 1249 mm.

No Quadro 2 são apresentados os dados da caracterização física do solo na camada 0-10 cm: análise granulométrica e argila dispersa em água, realizada conforme Ruiz et al. (2005), densidade de partículas, pelo método do balão volumétrico (Blake & Hartge, 1986a), microporosidade (Bouma, 1973), densidade do solo, pelo método do anel volumétrico (Blake & Hartge, 1986b), porosidade total obtida pela relação entre a densidade do solo e de partículas (Danielson & Sutherland, 1986), macroporosidade por diferença entre a porosidade total e a microporosidade e retenção de água nos potenciais -10 kPa e -1500 kPa (Gardner, 1986). O carbono orgânico total foi determinado pelo método Walkley e Black modificado (Defelipo & Ribeiro, 1997).

Quadro 2. Caracterização física e teor de carbono orgânico total do solo considerando o uso e a geoforma em amostras retiradas na camada 0-10 cm

Característica	Mata		Café		Eucalipto		Pastagem	
	Côncava	Convexa	Côncava	Convexa	Côncava	Convexa	Côncava	Convexa
Areia grossa (kg kg ⁻¹)	0,365	0,295	0,200	0,235	0,305	0,215	0,250	0,225
Areia fina (kg kg ⁻¹)	0,215	0,180	0,160	0,150	0,115	0,140	0,160	0,150
Silte (kg kg ⁻¹)	0,075	0,090	0,205	0,065	0,070	0,075	0,140	0,105
Argila (kg kg ⁻¹)	0,345	0,455	0,435	0,550	0,510	0,575	0,450	0,520
Argila dispersa em água (kg kg ⁻¹)	0,120	0,170	0,170	0,220	0,170	0,240	0,180	0,230
Densidade de partículas (kg dm ⁻³)	2,38	2,39	2,45	2,51	2,42	2,46	2,40	2,48
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	0,82	0,86	1,23	1,30	1,16	1,11	1,03	1,14
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	0,656	0,639	0,496	0,483	0,521	0,549	0,571	0,542
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,247	0,275	0,465	0,383	0,343	0,276	0,392	0,385
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,409	0,365	0,031	0,100	0,178	0,272	0,179	0,157
Retenção de água (kg kg ⁻¹)								
-10 kPa	0,245	0,297	0,425	0,314	0,265	0,313	0,348	0,321
-1.500 kPa	0,142	0,167	0,194	0,189	0,166	0,194	0,183	0,194
Carbono orgânico total (g kg ⁻¹)	35,3	40,3	16,1	29,2	30,9	31,9	33,4	26,2

Os dados de perda de água e solo foram agrupados mensalmente, entre março de 2009 e fevereiro de 2010. A partir desses valores calcularam-se as perdas cumulativas nos doze meses. O potencial de arraste de sedimentos (PAS) foi calculado, dividindo-se as perdas de solo em kg ha^{-1} pelas perdas de água em mm (Zhou et al., 2002).

Os resultados obtidos foram também submetidos à análise de componentes principais, com objetivo de verificar se as perdas de água e solo, atributos físicos e carbono orgânico do solo poderiam ser utilizados para indicar similaridade entre os tratamentos referentes à combinação de diferentes usos do solo e geofoma.

Cada componente principal é uma combinação linear das variáveis originais que são estimadas com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informações, em termos de variação total contida nos dados originais. Os componentes principais são independentes entre si (Cruz et al., 2011), por isso, cada componente pode ser considerado como uma “supervariável” (Gomes et al., 2004). O agrupamento é realizado por meio da variância dos tratamentos estudados, em relação ao conjunto de características que definem cada tratamento. Em suma, a técnica agrupa os tratamentos segundo a variação observada nas características consideradas (Varella, 2008).

Na análise de componentes principais, autovetor é o valor representativo do peso de cada variável, representando a medida de correlação entre as variáveis originais e os componentes principais. Autovalor é o valor que representa a contribuição relativa de cada componente principal para a variação total do conjunto de dados (Gomes et al., 2004).

Para realização da análise, os dados originais foram previamente padronizados, de modo que as variâncias residuais se tornassem iguais a um. A padronização justifica-se para que sejam minimizadas possíveis distorções inerentes às diferentes escalas utilizadas na mensuração das variáveis em estudo.

O critério utilizado para definir a viabilidade de uso da análise de componentes principais para agrupamento dos tratamentos por meio de representação gráfica, foi a retenção de 80 % ou mais da variação total disponível nos dois primeiros componentes principais (Cruz et al., 2011).

O método de classificação hierárquico foi utilizado para verificar a consistência do agrupamento sugerido na análise de componentes principais. Nesse método, os tratamentos são agrupados por um processo que se repete em vários níveis, até que seja construído um dendrograma. Para classificação hierárquica dos tratamentos, uma matriz

de dissimilaridade entre os mesmos foi gerada previamente por meio do quadrado da distância euclidiana média.

A classificação foi realizada segundo o método da ligação média entre grupos (UPGMA), onde são utilizadas as médias aritméticas das medidas de dissimilaridade, evitando assim caracterizar a dissimilaridade por meio de valores extremos entre os tratamentos considerados. O agrupamento foi efetuado segundo o Método de Mojema (1977). A consistência das ramificações do dendrograma foi avaliada por meio da reamostragem com reposição (bootstrapping), onde a repetitividade dos nós formados no dendrograma foi checada por meio de 10.000 simulações.

As análises de componentes principais e de agrupamento por meio de métodos hierárquicos foram realizadas com auxílio dos programas computacionais STATISTICA 8.0 (2007) e GENES 7.0 (Cruz, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O quadro 3 apresenta a precipitação pluviométrica mensal na área em estudo, no período de março/2009 a fevereiro/2010, e as perdas de água considerando o uso do solo (mata, café, eucalipto e pastagem) e a geoforma (côncava e convexa). Complementando essa informação, o quadro 4 mostra o valor médio, desvio padrão, valores máximo e mínimo e amplitude associados a cada tratamento indicado.

Pelas características climáticas da região, com períodos chuvosos e secos definidos, verifica-se pouco ou nenhum volume de água escoando das parcelas experimentais nos meses de menor precipitação (Quadro 3). Nesse caso, quando ocorreu precipitação houve infiltração da totalidade de água que atingiu as unidades experimentais. A amplitude no escoamento, registrada no quadro 4, é evidência adicional das diferenças marcantes que existem entre a época seca e a época chuvosa na Zona da Mata de Minas Gerais.

Considerando a necessidade de chuva em volume e intensidade apreciáveis para contar com escoamento superficial e a necessidade desse escoamento para provocar erosão hídrica, quantidades elevadas de sedimentos foram carregadas em associação com os maiores valores de escoamento nas parcelas experimentais. O quadro 5 apresenta esses dados e o quadro 6, o valor médio, desvio padrão, valores máximo e mínimo e amplitude associados a cada tratamento indicado, no período em estudo.

Quadro 3. Precipitação pluviométrica mensal na área em estudo (PPM) e perdas de água considerando o uso do solo e a geoforma (CC: côncava; CV: convexa)

Mês/Ano	PPM	Mata		Café		Eucalipto		Pastagem	
		CC	CV	CC	CV	CC	CV	CC	CV
mm									
Março/2009	235	9,5	13,6	52,0	71,2	43,7	48,6	55,2	128,9
Abril/2009	90	7,5	8,7	12,0	20,7	19,9	20,6	14,0	21,0
Mai/2009	6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Junho/2009	40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Julho/2009	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Agosto/2009	18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Setembro/2009	75	0,4	0,7	1,4	0,9	1,0	1,2	1,6	5,2
Outubro/2009	130	1,5	1,2	11,8	15,3	17,2	21,7	18,9	20,0
Novembro/2009	135	11,0	1,3	23,6	19,4	18,9	22,0	24,1	25,6
Dezembro/2009	335	41,5	57,8	136,0	145,6	117,6	140,0	206,0	298,0
Janeiro/2010	100	5,8	4,5	12,5	30,2	25,6	27,3	15,6	23,5
Fevereiro/2010	75	2,7	3,1	6,6	9,0	9,5	11,3	8,7	10,0

Quadro 4. Média geral, desvio padrão e valor máximo das perdas mensais de água no período de março/2009 a fevereiro/2010, considerando o uso do solo e a geoforma^{1/}

Uso do Solo	Geoforma	Média Geral	Desvio Padrão	Valor Máximo
Mata	Côncava	6,7	11,7	41,5
	Convexa	7,6	16,4	57,8
Café	Côncava	21,3	39,1	136,0
	Convexa	26,0	42,8	145,6
Eucalipto	Côncava	21,1	33,3	117,6
	Convexa	24,4	39,4	140,0
Pastagem	Côncava	28,7	58,1	206,0
	Convexa	44,4	87,4	298,0

^{1/} O valor mínimo sempre foi zero e, em consequência, a amplitude coincide com o valor máximo. Valores determinados com 12 observações.

Para avaliar a relação existente entre a precipitação pluviométrica mensal, o escoamento superficial e a perda de sedimentos, determinaram-se coeficientes de correlação linear simples entre essas três variáveis, considerando 12 observações correspondentes aos meses estudados, no período entre março de 2009 e fevereiro de 2010. Os resultados são mostrados no quadro 7. Observa-se que todos os coeficientes foram positivos, com valores no intervalo entre 0,781 e 0,989 e significância superior a 1 %. Essa resposta confirma a associação das perdas de água e solo com a precipitação, apresentando valores muito expressivos de correlação, para cada uso do solo e geoforma estudados. Deve ser destacado que os coeficientes de correlação linear foram determinados para cada situação estudada e não servem na comparação dos tratamentos avaliados: mata, plantio de café, plantio de eucalipto e pastagem e geoformas côncava e convexa.

Quadro 5. Perdas mensais de solo considerando o uso do solo e a geoforma (CC: côncava; CV: convexa)

Mês/Ano	Mata		Café		Eucalipto		Pastagem	
	CC	CV	CC	CV	CC	CV	CC	CV
	kg ha ⁻¹							
Março/2009	72,4	108,6	153,3	278,5	308,8	605,4	177,9	183,2
Abril/2009	7,1	12,7	26,4	154,8	34,7	210,1	49,3	131,7
Maió/2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Junho/2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Julho/2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Agosto/2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Setembro/2009	9,3	8,6	17,8	124,0	40,5	320,3	36,2	146,4
Outubro/2009	15,1	38,5	85,3	226,4	130,5	428,2	108,6	201,0
Novembro/2009	26,4	79,7	118,6	276,5	281,8	364,3	49,3	224,1
Dezembro/2009	87,8	179,5	455,2	486,2	339,6	804,3	432,1	501,3
Janeiro/2010	36,2	93,5	64,0	247,2	93,2	490,1	50,4	85,5
Fevereiro/2010	47,9	33,9	28,5	64,6	49,3	104,7	48,2	72,8

Quadro 6. Média geral, desvio padrão e valor máximo das perdas mensais de solo no período de março/2009 a fevereiro/2010, considerando o uso do solo e a geoforma^{1/}

Uso do Solo	Geoforma	Média Geral	Desvio Padrão	Valor Máximo
		kg ha ⁻¹		
Mata	Côncava	25,2	30,2	87,8
	Convexa	46,3	57,5	179,5
Café	Côncava	79,1	128,9	455,2
	Convexa	154,9	153,3	486,2
Eucalipto	Côncava	106,5	129,6	339,6
	Convexa	277,3	270,5	804,3
Pastagem	Côncava	79,3	122,7	432,1
	Convexa	128,8	143,9	501,3

^{1/} O valor mínimo sempre foi zero e, em consequência, a amplitude coincide com o valor máximo. Valores determinados com 12 observações.

Quadro 7. Coeficiente de correlação linear simples relacionando a perda mensal de água (PMA) e a perda mensal de solo (PMS) com a precipitação pluviométrica mensal (PPM) e a PMS com a PMA^{1/}

Uso do Solo	Geoforma	PMA x PPM	PMS x PPM	PMS x PMA
Mata	Côncava	0,879	0,901	0,781
	Convexa	0,854	0,933	0,816
Café	Côncava	0,929	0,936	0,989
	Convexa	0,944	0,942	0,865
Eucalipto	Côncava	0,933	0,919	0,792
	Convexa	0,930	0,933	0,831
Pastagem	Côncava	0,893	0,945	0,979
	Convexa	0,922	0,931	0,871

^{1/} Todos os coeficientes foram significativos a 1 % pelo teste t. Valores determinados com 12 observações.

Os dados de perdas mensais acumuladas de água considerando o uso do solo e a geoforma podem ser observados no Quadro 8. As perdas totais de água no período em questão variaram entre 79,9 e 532,2 mm, representando 6,4 e 42,8 % da precipitação total, na mata geoforma côncava e na pastagem geoforma convexa, respectivamente.

Os valores observados para os usos do solo, independentemente da geoforma, apresentam tendência definida com maiores perdas de água na pastagem e menores na mata. O café e o eucalipto apresentaram comportamento intermediário entre aqueles usos. Isto indica que as perdas de água diminuíram com o aumento da cobertura vegetal proporcionada pelo uso do solo. O controle da erosão hídrica oferecida por espécies arbóreas responde à redução no impacto da gota de chuva, ao aumento na infiltração de água proporcionado pelo dossel das plantas, à manutenção do teor de matéria orgânica e ao seu efeito agregante no solo. Além disso, a vegetação e os resíduos vegetais funcionam como obstáculos ao escoamento superficial, reduzindo a velocidade da enxurrada. Todos estes fatores convergem para reduzir o escoamento superficial e, conseqüentemente, as perdas (Franco et al., 2002). Em acréscimo, esperar-se-ia maior compactação superficial na pastagem, em resposta ao pisoteio dos animais, e, conseqüentemente, menor infiltração de água.

Quadro 8. Perdas mensais acumuladas de água considerando o uso do solo e a geoforma (CC: côncava; CV: convexa)

Mês/Ano	Mata		Café		Eucalipto		Pastagem	
	CC	CV	CC	CV	CC	CV	CC	CV
	mm							
Março/2009	9,5	13,6	52,0	71,2	43,7	48,6	55,2	128,9
Abril/2009	17,0	22,3	64,0	91,9	63,6	69,2	69,2	149,9
Mai/2009	17,0	22,3	64,0	91,9	63,6	69,2	69,2	149,9
Junho/2009	17,0	22,3	64,0	91,9	63,6	69,2	69,2	149,9
Julho/2009	17,0	22,3	64,0	91,9	63,6	69,2	69,2	149,9
Agosto/2009	17,0	22,3	64,0	91,9	63,6	69,2	69,2	149,9
Setembro/2009	17,4	23,0	65,4	92,8	64,6	70,4	70,8	155,1
Outubro/2009	18,9	24,2	77,2	108,1	81,8	92,1	89,7	175,1
Novembro/2009	29,9	25,5	100,8	127,5	100,7	114,1	113,8	200,7
Dezembro/2009	71,4	83,3	236,8	273,1	218,3	254,1	319,8	498,7
Janeiro/2010	77,2	87,8	249,3	303,3	243,9	281,4	335,4	522,2
Fevereiro/2010	79,9	90,9	255,9	312,3	253,4	292,7	344,1	532,2

A presença do dossel e dos resíduos vegetais na mata, café e eucalipto favorecem maior tempo de permanência da água no sistema e conseqüentemente sua menor perda. Porém, as perdas de água observadas no café e eucalipto são elevadas, em torno de 250 e 350 mm. Esses valores são atribuídos a quaisquer mudanças na cobertura vegetal que afetam diretamente a taxa de escoamento superficial, aumentando os efeitos danosos da erosão em áreas agrícolas (Santos et al., 2000).

Na pastagem, as perdas de água são preocupantes tendo em vista que as áreas com pastagem representam 70 % da superfície da Zona da Mata Mineira. Essas perdas acarretam prejuízos ambientais, pois comprometem o aproveitamento de água no sistema e a recarga hídrica para manutenção dos cursos d'água.

Vale ressaltar que mesmo em condições de vegetação densa como na mata verifica-se que ocorrem perdas de água por escoamento superficial, o que se deve à capacidade-limite de infiltração de água do solo (Cogo et al., 1996; Bertol et al., 1997; Morais & Cogo, 2001; Mello et al., 2003). Ultrapassado tal limite, o excesso de água de chuva escoava independentemente do uso do solo. Isso ocorre especialmente em condições de chuvas de longa duração, portanto de elevado volume, as quais saturam o solo e, assim, chegam a produzir enxurradas. Esse fato pode ser elucidado observando-se as maiores perdas de água para o mês de dezembro de 2009, condizente com a elevada precipitação (Quadro 3). O período crítico para erosão hídrica comumente ocorre entre os meses de dezembro e março nesta região. Embora as perdas de água observadas para o mês de janeiro de 2010 tenham sido menores em relação às perdas observadas no mês anterior, a lâmina precipitada ocorrida foi baixa, considerada atípica para esse mês em questão (Quadro 3).

Em relação às geoformas, os resultados observados indicam tendência definida de perdas de água, sendo estas maiores para a geoforma convexa em relação à côncava (Quadro 8), o que se deve ao comportamento característico proveniente da forma da encosta. O fluxo de água entre as geoformas é diferente, na convexa há divergência da água de chuva e, geralmente menor infiltração e a côncava reflete convergência da água.

Os dados de perdas mensais acumuladas de solo considerando o uso do solo e a geoforma podem ser observados no quadro 9. As perdas totais de solo no período em questão variaram entre 302,2 e 3327,4 kg ha⁻¹ na mata, geoforma côncava, e no eucalipto, geoforma convexa, respectivamente.

Quadro 9. Perdas mensais acumuladas de solo considerando o uso do solo e a geoforma (CC: côncava; CV: convexa)

Mês/Ano	Mata		Café		Eucalipto		Patagem	
	CC	CV	CC	CV	CC	CV	CC	CV
	kg ha ⁻¹							
Março/2009	72,4	108,6	153,3	278,5	308,8	605,4	177,9	183,2
Abril/2009	79,5	121,3	179,7	433,3	343,5	815,5	227,2	314,9
Maió/2009	79,5	121,3	179,7	433,3	343,5	815,5	227,2	314,9
Junho/2009	79,5	121,3	179,7	433,3	343,5	815,5	227,2	314,9
Julho/2009	79,5	121,3	179,7	433,3	343,5	815,5	227,2	314,9
Agosto/2009	79,5	121,3	179,7	433,3	343,5	815,5	227,2	314,9
Setembro/2009	88,8	129,9	197,5	557,3	384,0	1135,8	263,4	461,3
Outubro/2009	103,9	168,4	282,8	783,7	514,5	1564,0	372,0	662,3
Novembro/2009	130,3	248,1	401,4	1060,2	796,3	1928,3	421,3	886,4
Dezembro/2009	218,1	427,6	856,6	1546,4	1135,9	2732,6	853,4	1387,7
Janeiro/2010	254,3	521,1	920,6	1793,6	1229,1	3222,7	903,8	1473,2
Fevereiro/2010	302,2	555,0	949,1	1858,2	1278,4	3327,4	952,0	1546,0

Na mata observam-se os menores valores de perdas de solo, tanto na geoforma côncava quanto na convexa (Quadro 9). Essa resposta é esperada, tendo em vista a cobertura vegetal densa da Mata Atlântica secundária. Os baixos valores de perda de solo observados são atribuídos à barreira física propiciada pela cobertura vegetal, evidenciando a eficiência da vegetação nativa em proteger o solo no processo erosivo. O dossel das árvores dissipa a energia do impacto das gotas de água das chuvas, que escoam pelos troncos, galhos e folhas, e quando a água da chuva atinge a superfície, encontra uma cobertura vegetal, a serapilheira, que atenua ainda mais o arraste das partículas de solo. Conforme Santos et al. (2000), mesmo em condições semi-áridas, a proteção pela vegetação nativa ou pela cobertura morta limita significativamente a produção de sedimentos.

Os valores obtidos para as perdas de solo no café (Quadro 9) foram superiores aos encontrados por Carvalho et al. (2007) em um Latossolo Vermelho distroférico, com declividade semelhante à deste trabalho, em diferentes sistemas de manejo do cafeeiro. Entretanto, os valores aqui encontrados foram inferiores aos de Rufino et al. (1985), que verificaram perdas de solo, em parcelas, sob chuva natural, para um Latossolo Vermelho distroférico típico em torno de 86 t ha⁻¹ ano⁻¹ para cafeeiro conduzido no sistema convencional com espaçamento 4x2 m. A menor perda de solo

observada neste trabalho deve-se ao maior tempo de cultivo da lavoura e ao menor espaçamento utilizado no sistema convencional adensado, o que reduz a entrelinha do cafeeiro, proporcionando maior proteção do solo e, conseqüentemente, redução no impacto direto da gota de chuva. Por sua vez, Andrello et al. (2003), verificando as taxas de erosão na cultura do cafeeiro, em Latossolos, utilizando a metodologia do Césio-137, não encontraram perdas de solo para o cafeeiro.

No eucalipto as perdas de solo foram superiores aos demais usos, considerando as geoformas côncava e convexa (Quadro 9). Esse resultado pode ser proveniente do manejo eventualmente inadequado adotado, que ocasiona maiores impactos sobre o solo, e do plantio em áreas de relevo movimentado em que o processo erosivo se intensifica. Segundo Brito et al. (2005), o manejo sustentável de plantios florestais torna-se uma questão estratégica do ponto de vista ambiental e econômico, já que o processo erosivo pode ser agravado se práticas conservacionistas não forem utilizadas.

Os valores de perdas de solo para o eucalipto foram semelhantes aos encontrados por Martins et al. (2003), que compararam três classes de solo sob cultivo de eucalipto na região dos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. Esses autores observaram perdas de solo entre 0,21 e 3,20 t ha⁻¹ ano⁻¹. Os autores relataram ainda que os valores observados, apesar de ligeiramente superiores aos obtidos na mata nativa, são bastante inferiores às determinadas em solo descoberto.

Na pastagem os valores de perdas de solo observados foram superiores aos encontrados para a mata, uso tido como referência em estudos de erosão hídrica (Quadro 9). Os resultados foram inferiores aos observados por Bono et al. (1996) que desenvolveram estudos, objetivando avaliar perdas de solo por erosão em pastagem nativa e melhorada, em Latossolo Vermelho Escuro. As perdas informadas por esses autores foram de 18,0 t ha⁻¹ ano⁻¹, na pastagem nativa, e de 6,8 t ha⁻¹ ano⁻¹, na pastagem melhorada. Entretanto, os resultados obtidos para pastagem foram superiores aos encontrados por Brito et al (2005), que obtiveram valores de perdas de solo anual em torno de 0,39 t ha⁻¹ para pastagem nativa.

Entre as geoformas, côncava e convexa, os resultados de perdas de solo indicam maiores valores de perdas de solo para a geoforma convexa, evidenciando a tendência das geoformas convexas à erosão laminar e uniforme, isto é, possibilita a retirada de solo de forma semelhante em toda a extensão. Segundo Resende (1985), a erosão dos solos aumenta das geoformas côncavas para as convexas. Esse autor coloca que as geoformas côncavas apresentam ineficiente remoção de sedimento, principalmente na

base de suas encostas, sendo forma de maior convergência de água. A forma convexa, pelo contrário, apresenta maior divergência.

Na figura 4 observa-se o potencial de arraste de sedimentos (PAS), o qual corresponde às perdas de solo por mm de água do escoamento. O PAS foi calculado dividindo-se os valores acumulados (fevereiro/10) do quadro 9 pelos valores acumulados, para o mesmo mês, do quadro 8. Os valores variaram de 2,77 a 9,17 $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ para pastagem na geoforma côncava e eucalipto na geoforma convexa, respectivamente. Os valores do potencial de arraste de sedimentos foram superiores para geoforma convexa em relação à geoforma côncava, independentemente do uso do solo.

Observa-se que, para mesma geoforma, a mata, e os plantios de café e de eucalipto apresentaram valores semelhantes e a pastagem, valores reduzidos de potencial de arraste de sedimentos. Os menores valores de potencial de arraste de sedimentos para a pastagem podem ser devido ao encrostamento superficial observado, dificultando a desagregação das partículas, reduzindo dessa forma a energia cinética de transporte de sedimentos no escoamento.

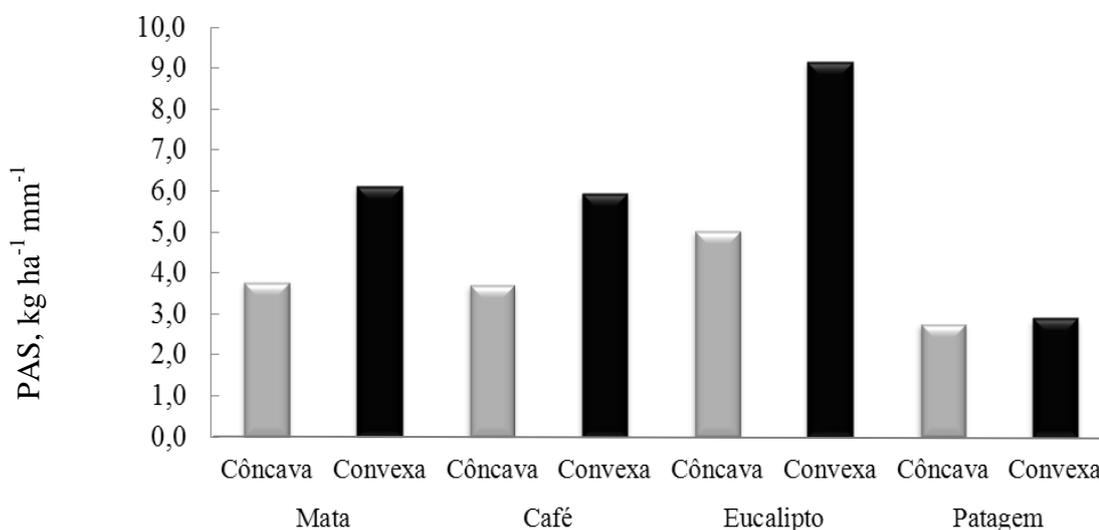


Figura 4. Potencial de arraste de sedimentos (PAS) no período de março/2009 a fevereiro/2010, considerando o uso do solo e a geoforma.

Para uma análise exploratória da configuração dos agrupamentos possíveis entre os tratamentos por meio das variáveis perdas de solo e água, bem como dos atributos físicos e carbono orgânico do solo, analisou-se o gráfico scree-plot (Figura 5), no qual

os dois primeiros componentes foram suficientes para explicar a maior parte da variação total dos dados, pois retiveram mais de 80 % da variação observada.

Na Figura 6 é apresentado o diagrama de agrupamento dos tratamentos, combinação dos usos do solo e geoformas. A análise de componentes principais sugere que o agrupamento ocorreu principalmente mais devido ao efeito da geoforma do que do uso do solo, exceção da mata e café na geoforma côncava. O grupo formado no quadrante superior direito pelos tratamentos com a geoforma convexa associou-se às maiores perdas de água e solo em relação à côncava (Quadro 8 e 9). Segundo Resende et al. (1997), a erosão dos solos aumenta das pedoformas côncavas para as convexas, passando pela linear, que possui maior estabilidade. Além disso, a pastagem, café e eucalipto na geoforma convexa, agruparam-se principalmente pelos maiores teores de argila, argila dispersa em água, densidade de partículas e densidade do solo, tendo em vista que quanto mais próximos os pontos maiores tenderão a ser suas semelhanças (Valladares et al., 2008). Corroborando resultados acima apresentados, Sanchez et al. (2009) observaram maiores teores de argila no horizonte superficial, em solos na forma convexa, em relação aos solos da curvatura côncava. Este fato reforça a hipótese de que em solos pertencentes à mesma classe, a erosão é mais acentuada na forma convexa (Resende et al., 1992).

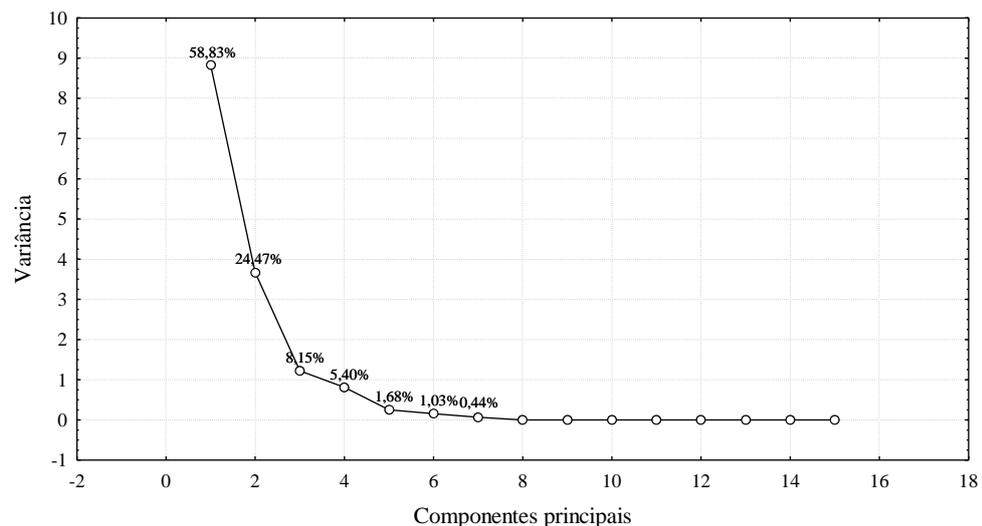
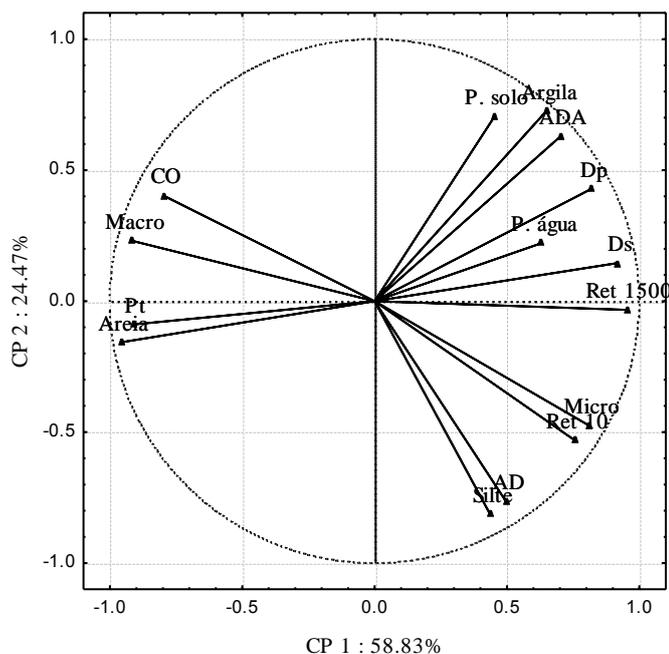


Figura 5. Gráfico dos autovalores em função da ordem dos componentes principais

A



B

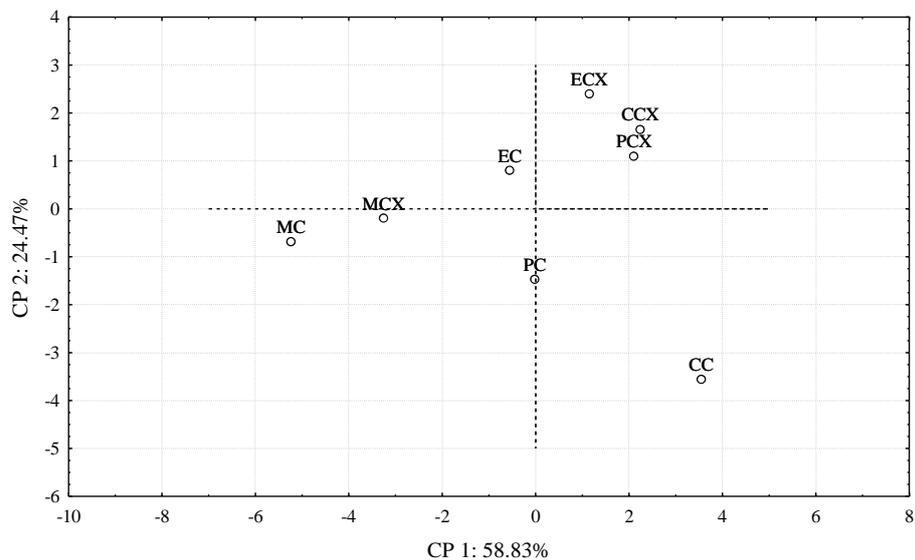


Figura 6. Análise de componentes principais de perdas de solo e água, atributos físicos e carbono orgânico do solo para oito combinações de uso do solo e geofoma. (A) Círculo de autovetores das variáveis; (B) Plano de dispersão de pontos dos grupos formados pelos tratamentos.

Observou-se que no quadrante direito superior, as variáveis perdas de solo, argila e argila dispersa em água apresentaram elevada correlação, demonstrada pelos pequenos ângulos entre as setas referentes a cada variável. Além disso, observou-se por meio do comprimento das setas a importância dessas variáveis na separação do grupo localizado neste quadrante.

A análise gráfica revelou maior dispersão entre os tratamentos com geoforma côncava. Entretanto, há similaridade entre os tratamentos do grupo em relação às perdas de solo e água, aos atributos físicos e ao carbono orgânico do solo. Este comportamento deve-se às diferenças na distribuição espacial dos atributos do solo que estão associadas a variações no fluxo de água, sendo este, o principal responsável pela variabilidade detectada na geoforma côncava (Souza et al., 2003).

Ressalta-se também, que a geoforma côncava apresenta maior variabilidade no processo erosivo (Souza et al., 2003), principalmente, quando se considera as partes mais altas da geoforma que apresentam maior instabilidade. Porém, neste trabalho, a parcela experimental coincide com a parte deposicional da geoforma côncava, área mais baixa, de maior estabilidade (Resende et al., 1997), conferindo menores valores de perdas de água e solo àqueles observados na geoforma convexa. Segundo Resende (1985), as formas côncavas apresentam ineficiente remoção de sedimentos, notadamente na base de suas encostas, sendo esta, a forma de maior convergência de água, enquanto a forma convexa apresenta maior divergência.

Embora por meio de estimativas, Sanchez et al. (2009) trabalhando com um Argissolo Vermelho Amarelo sob cultivo intenso de cana-de-açúcar, concluíram que as maiores perdas de solo, risco e potencial natural de erosão ocorrem na forma convexa e indicam forte dependência espacial dos atributos com a forma do relevo. Apesar de no presente trabalho o solo tenha sido diferente ao do trabalho citado anteriormente, o papel da forma da encosta no processo erosivo condiz com os resultados obtidos neste trabalho realizado em campo, até então, não devidamente quantificados para a Zona da Mata, MG.

No café geoforma côncava, observa-se um distanciamento gráfico em relação aos demais usos nesta geoforma. Os atributos físicos responsáveis pelo seu posicionamento no diagrama foram os maiores valores de silte, que possivelmente contribuiu para os maiores valores de microporosidade, em consequência ao possível rearranjo dessas partículas mais finas. Este comportamento evidencia-se pela correlação observada entre essas variáveis enquadradas no mesmo quadrante (direito inferior). A retenção de água nos potenciais analisados e a água disponível apresentaram elevada correlação com os teores da fração silte e microporosidade e, também, contribuíram para o posicionamento desse tratamento.

Dentro desse contexto, esperava-se que os valores de perdas de água no café fossem mais elevados dentre os tratamentos na geoforma côncava, o que não ocorreu

(Quadro 8). Ainda que a maior microporosidade seja um dos fatores responsáveis pela diminuição da infiltração de água no solo com consequente aumento do escoamento superficial, as perdas de água foram menores em relação à pastagem, devido possivelmente aos resíduos da cultura e as condições da pastagem com indícios de degradação. O controle da erosão hídrica oferecida por espécies arbóreas é obtido devido aos efeitos de redução no impacto da gota de chuva, ao aumento de infiltração de água, à manutenção do teor de matéria orgânica e ao seu efeito agregante no solo (Franco et al., 2002). Além disso, a vegetação e os resíduos vegetais funcionam como obstáculos ao caminamento de excedentes hídricos, reduzindo a velocidade do escoamento (Garcia-Ruiz 2010). Todos estes fatores convergem assim, para reduzir o escoamento superficial e, conseqüentemente, as perdas de solo, água e nutrientes.

Na mata, a posição dos tratamentos no gráfico indica que o agrupamento ocorreu em função do uso do solo, por meio da nítida tendência dos tratamentos com vegetação natural à esquerda inferior do diagrama. Este posicionamento evidencia a importância do maior teor de carbono orgânico, porosidade total e macroporosidade elevadas e, maior teor de areia em relação aos demais solos com outros usos. Nesse sentido, ressalta-se o papel fundamental da fração orgânica do solo composta pelo carbono do solo na sustentabilidade dos usos do solo (Boddey et al., 2010). Isto indica que as perdas de solo e água foram menores com o aumento da cobertura vegetal proporcionada pelo uso do solo. Estes atributos são correlacionados, já que tanto o carbono orgânico como a fração areia, contribui para maiores valores de porosidade total e da macroporosidade. Isto se evidencia pela sobreposição que ocorreu entre as setas da porosidade total e a areia no quadrante esquerdo inferior, bem como a proximidade entre as setas das variáveis macroporosidade e carbono orgânico do solo no quadrante esquerdo superior. Estes atributos relacionados à porosidade do solo apresentaram maior correlação com o primeiro eixo, que foi considerado como de maior significado, já que o segundo eixo respondeu apenas por 24,47 %.

Na mata as menores perdas de solo observadas são atribuídas à barreira física propiciada pela cobertura vegetal evidenciando a eficiência em proteger o solo no processo erosivo (Nunes et al., 2010). Além disso, a vegetação nativa propicia maior acúmulo de matéria orgânica à superfície do solo, ajudando sobremaneira a evitar a desagregação e o deslocamento de partículas, evitando assim erosão pronunciada.

Pereira et al. (2010) observam que os maiores valores de porosidade total e macroporosidade apresentados pelo uso mata nativa, em Latossolo Vermelho distrófico,

foram os responsáveis pelo agrupamento desse uso individualizado em relação ao solo com pastagem o que vem a ser corroborado aos resultados observados no presente trabalho. Isto denota o efeito negativo da desestruturação do solo em consequência dos usos do solo de maneira inadequada, visto que, neste estudo, os maiores valores de porosidade total e macroporosidade foram observados para mata.

Por meio da visualização do dendrograma confirma-se a tendência observada com a dispersão dos tratamentos por meio dos componentes principais (Figura 7). Sugere-se, conforme Mojena (1977), um corte a 15,03 % em relação à dissimilaridade no último nível de fusão (43,47). Com isso, é possível observar a reunião dos mesmos usos do solo na geoforma convexa, o agrupamento do eucalipto e pastagem, ambos na geoforma côncava, a individualização do café na geoforma côncava e a formação de grupo relativo à mata.

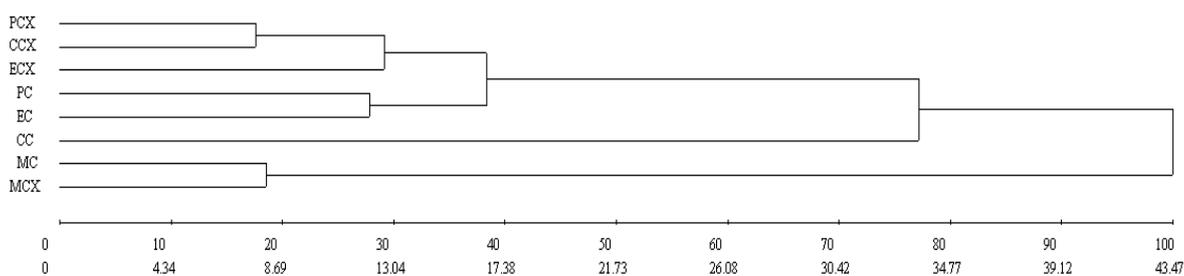


Figura 7. Dendrograma obtido pelo método UPGMA por meio do quadrado da distância euclidiana média entre os oito tratamentos (combinações entre usos do solo e geoforma). Os valores da primeira linha do eixo das abscissas correspondem aos valores percentuais em relação à dissimilaridade no último nível de fusão (43,47).

Portanto, pode-se concluir por meio da observação do dendrograma que aqueles tratamentos com proximidade no diagrama de componentes principais possuem comportamentos semelhantes. Assim sendo, quanto maior a proximidade gráfica dos tratamentos, maior a similaridade entre eles. Os resultados obtidos pela análise de agrupamentos por meio de métodos hierárquicos corroboram aqueles obtidos por meio da análise de componentes principais, indicando dessa forma, a consistência dos agrupamentos realizados (Cruz et al., 2011).

CONCLUSÕES

1. Considerando a necessidade de chuva em volume e intensidade apreciáveis para contar com escoamento superficial e a necessidade desse escoamento para provocar erosão hídrica, quantidades elevadas de sedimentos foram carregadas em associação com os maiores valores de escoamento nas parcelas experimentais, com coeficientes de correlação linear no intervalo entre 0,781 e 0,989, considerando períodos mensais entre março de 2009 e fevereiro de 2010.
2. As perdas de água acumuladas no período foram: pastagem > café ≈ eucalipto >> mata. A presença do dossel e dos resíduos vegetais na mata, no café e no eucalipto diminui a velocidade do escoamento superficial e contribui para incrementar a infiltração de água no solo.
3. As perdas de solo acumuladas no período foram eucalipto >> café > pastagem >> mata, resposta coerente com o revolvimento do solo nos cultivos de eucalipto e café e com a maior compactação superficial na pastagem, em resposta ao pisoteio dos animais.
4. Em relação às geoformas, os resultados indicam maiores perdas de água e solo na geoforma convexa. O fluxo de água entre as geoformas é diferente, na convexa há divergência da água de chuva e, geralmente, menor infiltração e na côncava, pelo contrário, há convergência da água de chuva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, R.S. S.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. & MATOS, A.T. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas na erosão entre sulcos. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 5:124-130, 2001.
- ANDRELLO, A. C.; APPOLONI, C. R. & GUIMARÃES, M.F. Uso do Césio-137 para avaliar taxas de erosão em cultura de soja, café e pastagem. R. Bras. Ci. Solo, 27:223-229, 2003.
- BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e ausência de resíduos culturais. R. Bras. Ci. Solo, 21:409-418, 1997.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. São Paulo, Ícone, 1990. 335p.

- BEZERRA, S. A. & CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:565-573, 2006.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A. ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986a. p.377-382.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986b. p.363-375.
- BLASZCZYNSKI, J.S. Landform characterization with Geographic Information Systems. *Photogr. Cong. Remote Sens.*, 63:183-191, 1997.
- BODDEY, R.M.; JAN ALIA, C.P.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H.P. DENARDIN, J.E.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; ALVES, B.J.R. & URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. *Glob. Chan. Biol.*, 16:784-795, 2010.
- BONO, J.A.M.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; EVANGELISTA, A.R.; CARVALHO, M.M. & SILVA, M.L.N. Cobertura vegetal e perdas de solo por erosão em diversos sistemas de melhoramento de pastagens nativas. *Past. Trop.*, 18:2-8, 1996.
- BOUMA, J. Guide to the study of water movement in soil pedons above the water table. Madison, University of Wisconsin, 1973. 194p.
- BRITO, L. de F.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; LEITE, F. P.; FERREIRA, M. M. & PIRES, L. S. Erosão hídrica de Latossolo Vermelho muito argiloso relevo ondulado em áreas de pós-plantio de eucalipto no Vale do Rio Doce região Centro Leste do estado de Minas Gerais. *Scientia Forestalis*, 67:27-36, 2005.
- CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; OLIVEIRA, O. F. L. & MELO, R. O. de. Hidráulica e taxas de erosão em entressulcos sob diferentes declividade e doses de cobertura morta. *R. Caatinga*, 22:68-74, 2009.
- CARVALHO, R.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURTI, N. & SOUZA, F.S. Erosão hídrica em latossolo vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no Sul de Minas Gerais. *Ciênc. agrotec.* 31:1679-1687, 2007.
- CASTRO, L.G.; COGO, N.P. & VOLK, L.B.S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:339-352, 2006.
- COGO, N.P.; FOSTER, G.R. & MOLDENHAUER, W.C. Flow rates-soil erosion relationships as affected by wheat residue cover: an attempt to define slope-length limits for conservation tillage. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:475-483, 1996.
- COGO, N.P.; LEVIEN, R. & SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *R. Bras.Ci. Solo*, 27:743-753, 2003.
- COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C. & FOSTER, G.R. . Effect of residue cover, tillage-induced roughness, and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47:1005-1008, 1983.
- CRUZ, C.D.; FERREIRA, F.M.; PESSONI, L.A. *Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética*. Viçosa, Editora Independente, 2011. 620 p.
- CRUZ, C.D. *Programa Genes: Biometria*. Viçosa, Editora UFV. 2006. 382p.

- CRUZ, C.D. & CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, Editora UFV, 2003. 585p.
- DANIELSON, R.E. & SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.443-461.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química de solo. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 26p. (Boletim de Extensão)
- FOSTER, G.R. Modelling the erosion process. In: HAAN, C.T.; JOHNSON, H.D. & BRAKENSIEK, D.L., eds. Hydrologic modeling of small watersheds. St. Joseph, ASAE, 1982. p.297-380.
- FRANCO, F.S.; COUTO, L.; CARVALHO, A.F.; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E.I.; SILVA, E. & NETO, J.A.M. Quantificação de erosão em sistemas agrícolas agroflorestais e convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. R. Árvore, 26:751-760, 2002.
- GARCÍA-RUIZ, J. M. The effects of land uses on soil erosion in Spain: a review. Catena, 81:1-11, 2010.
- GARDNER, W.H. Water content. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis: Part 1 - Physical and mineralogical methods. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.493-541.
- GOMES, J.B.V.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S.M. & SHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 28:137-153, 2004.
- GROHMANN, F. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo. Bragantia, 19:319-328, 1960.
- GROSH, J.L. & JARRETT, A.R. Interrill erosion and runoff on very steep slopes. Transactions of the ASAE, St Joseph, 37:1127-1133, 1994.
- INÁCIO, E. S. B.; CANTALICE, J. R. R.; NACIF, P. G. S.; ARAUJO, Q. R. de & BARRETTO, A. C. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na microbacia do Ribeirão Salomea. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, 11:355-360, 2007.
- MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). R. Bras. Ci. Solo, 27:395-403, 2003.
- MELLO, E.L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A.L.V. & CARRAFA, M.R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. R. Bras. Ci. Solo, 27:901-909, 2003.
- MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H.; REICHERT, J.M. & SANTOS, D.R. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. R. Bras. Ci. Solo, 31:1637-1646, 2007.
- MOJENA, R. Hierarchical grouping method and stopping rules: an evaluation. Computer J., 20:359-363, 1977.
- MORAIS, L.F.B. & COGO, N.P. Comprimentos críticos de rampa para diferentes manejos de resíduos culturais em sistema de semeadura direta em um Argissolo Vermelho da Depressão Central (RS). R. Bras. Ci. Solo, 25:1041-1051, 2001.

- NUNES, A. N.; COELHO, C. O. A.; ALMEIDA, A. C. & FIGUEIREDO, A. Soil erosion and hydrological response to land abandonment in a central Inland area of Portugal. *Land Degradation and Development*, 21:260-273, 2010.
- PEREIRA, S.A.; OLIVEIRA, G.C., SEVERIANO, E.C.; BALBINO, L.C. & OLIVEIRA, J. P. Análise de componentes principais dos atributos físicos de um Latossolo vermelho distrófico típico sob pastagem e mata. *Gl. Sci. Technol.*, 3:87-97, 2010.
- PRUSKI, F.F. Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa, Editora UFV, 2006. 240 p.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; RESENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 2.ed. Viçosa, Núcleo de Estudo de Planejamento e Uso da Terra, 1997. 367p.
- RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A. & LANI, J.L. Características do solo e da paisagem que influencia a susceptibilidade à erosão. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, Campinas, Fundação Cargill, 1992. p.32-67
- RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. *Inf. Agropec.*, 11:3-18, 1985.
- RUFINO, L. R.; HENKLAIN, J. C.; BISCAIA, R. C. M. Influência de práticas de manejo e cobertura vegetal do cafeeiro nas perdas de solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:277-280, 1985.
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *R. Bras. Ci. Solo*, 29:297-300, 2005.
- SANCHEZ, R.B.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. & MARTINS FILHO, M.V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. *Bragantia*, 68:1095-1103, 2009.
- SANTOS, C.A.G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M. & SRINIVASAN, V.S. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 4:92-96, 2000.
- SHARMA, A.; TIWARI, K.N. & BHADORIA P. B. S. Effect of land use land cover change on soil erosion potential in an agricultural watershed. *Environ. Monit. Assess*, 173:789–801, 2011.
- SOUZA, C. K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V. & PEREIRA, G. T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1067-1074, 2003.
- SPAROVEK, G. & SCHUNG, E. Soil tillage and agriculture. A theoretical case study for soil erosion control in Brazilian sugar cane production. *Soil & Till. Res.*, 61:47-54, 2001.
- STATISTICA, StatSoft Poland (data analysis software system), Version 8.0 PL, Krakow, Poland, 2007.
- VALLADARES, G. S.; GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; EBELING, A. G. & BENITES, V. M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de organossolos e solos afins. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:285-296, 2008.

- VARELLA, C.A.A. Análise de componentes principais. Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008. 12p.
- WEILL, M.A.M. & SPAROVEK, G. Estudo da erosão na Microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I - Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do model: EUPS. R. Bras. Ci. Solo, 32:801-814, 2008.
- ZHOU, G. Y.; MORRIS, J. D.; YAN, H. H.; YU, Z. Y.; PENG, S. L. Hidrological impacts of reforestation with eucalyptus end indigenous species: a case study in southern China. For. Ecol. Manag, 167:209-222, 2002.

APÊNDICE

Quadro 1A. Análise de variância referente à umidade do solo nas profundidades 10, 30 e 100 cm, considerando o uso do solo, a geofoma e o período de amostragem

Fontes de variação	GL	Quadrado médio		
		10 cm	30 cm	100 cm
Blocos	2	0,0115	0,0069	0,0040
Geofomas	1	0,0044*	0,1290*	0,1683**
Resíduo (1)	2	0,0001	0,0020	0,00001
Uso do solo	3	0,0146**	0,0363**	0,1285**
Uso do solo*geofomas	3	0,0127**	0,0079*	0,0152**
Resíduo (2)	12	0,0001	0,0021	0,0001
Períodos	3	0,0171**	0,0074	0,0153**
Períodos*uso do solo	9	0,0003	0,0004	0,0004
Períodos*geofomas	3	0,0003	0,0027	0,0006
Períodos*geofomas*uso do solo	9	0,0002	0,0021	0,0001
Resíduo (3)	48	0,0021	0,0033	0,0004
CV 1 (%)		5,00	16,61	1,32
CV 2 (%)		5,22	17,13	4,88
CV 3 (%)		18,86	21,33	8,03
Média geral (kg kg ⁻¹)		0,24	0,27	0,26

* ** Significativo a 5 % e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 2A. Análise de variância referente à temperatura média (MED), mínima (MIN), máxima (MAX) e amplitude térmica (AT) do ar, considerando o uso do solo, a geofoma e o período de amostragem

Fontes de variação	GL	Quadrado médio			
		MED	MIN	MAX	AT
Blocos	2	2,0088	0,5604	7,6346	9,1222
Geofomas	1	0,4606	0,2805	1,8040	0,6633
Resíduo (1)	2	0,2828	0,0394	4,7281	3,9269
Uso do solo	3	5,8874*	14,8060*	162,6194*	248,1568**
Uso do solo *geofomas	3	129,1663	0,2805	1,8040	0,6633
Resíduo (2)	12	0,4588	0,4928	8,1418	8,8409
Períodos	3	3,2168*	21,7401*	102,7716*	53,7131**
Períodos* uso do solo	9	0,3016	0,0441	4,1580	3,6872
Períodos*geofomas	3	2,7498	1,9301	17,0945	22,2920**
Períodos*geofomas* uso do solo	9	0,3020	0,0441	4,1580	3,6872
Resíduo (3)	48	1,7546	4,4680	7,5252	6,7374
CV 1 (%)		2,66	1,49	7,51	12,65
CV 2 (%)		6,64	5,28	9,85	18,98
CV 3 (%)		8,89	15,9	9,47	16,57
Média geral (°C)		19,95	13,9	28,95	15,66

* ** Significativo a 5 % e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 3A. Análise de variância referente à temperatura média (MED), mínima (MIN), máxima (MAX) e amplitude térmica (AT) do solo a 10 cm de profundidade, considerando o uso do solo, a geoforma e o período de amostragem

Fontes de variação	GL	Quadrado médio			
		MED	MIN	MAX	AT
Blocos	2	0,6407	2,1949	0,2600	3,3910
Geoformas	1	0,0082	0,575	2,3281	5,0142
Resíduo (1)	2	0,0023	0,0227	0,1645	0,3068
Uso do solo	3	80,2003**	38,0873**	191,4090**	67,3576**
Uso do solo *geoformas	3	0,0302	1,5457**	6,3636**	13,8365**
Resíduo (2)	12	0,1341	0,0426	0,2697	0,2859
Períodos	3	98,2062**	114,0403**	66,7353**	14,3391
Períodos* uso do solo	9	0,3202	0,0350	0,3497	0,4509
Períodos*geoformas	3	0,0194	0,3315	0,7161	0,6632
Períodos*geoformas* uso do solo	9	0,0198	0,0298	0,2686	0,4134
Resíduo (3)	48	1,3542	2,2614	1,6653	1,0412
CV 1 (%)		0,23	0,79	1,79	15,30
CV 2 (%)		1,75	1,08	2,29	14,77
CV 3 (%)		5,57	7,88	5,68	28,18
Média geral (°C)		20,90	19,09	22,71	3,62

** Significativo a 1 % pelo teste F.

Quadro 4A. Análise de variância referente à temperatura média (MED), mínima (MIN), máxima (MAX) e amplitude térmica (AT) do solo a 30 cm de profundidade, considerando o uso do solo, a geoforma e o período de amostragem

Fontes de variação	GL	Quadrado médio			
		MED	MIN	MAX	AT
Blocos	2	0,6770	2,0609	0,2996	0,8510
Geoformas	1	0,0201	0,0698	0,4173	0,8269
Resíduo (1)	2	0,0007	0,0028	0,0381	0,0555
Uso do solo	3	72,8477**	38,3983**	104,7277**	20,2637**
Uso do solo *geoformas	3	0,1388	0,3648	0,2541	1,0406**
Resíduo (2)	12	0,0855	0,1371	0,3136	0,1649
Períodos	3	86,0101	92,6028**	66,5818	5,7301
Períodos* uso do solo	9	0,0039**	0,0419	0,0928	0,1795
Períodos*geoformas	3	0,2254	0,3830	0,4621	0,9446*
Períodos*geoformas* uso do solo	9	0,0433	0,0343	0,1035	0,1043
Resíduo (3)	48	1,1989	1,6357	1,0173	0,4375
CV 1 (%)		0,13	0,27	0,89	11,14
CV 2 (%)		1,39	1,86	2,55	19,19
CV 3 (%)		5,22	6,44	4,59	31,27
Média geral (°C)		20,98	19,86	21,98	2,11

* ** Significativo a 5 % e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

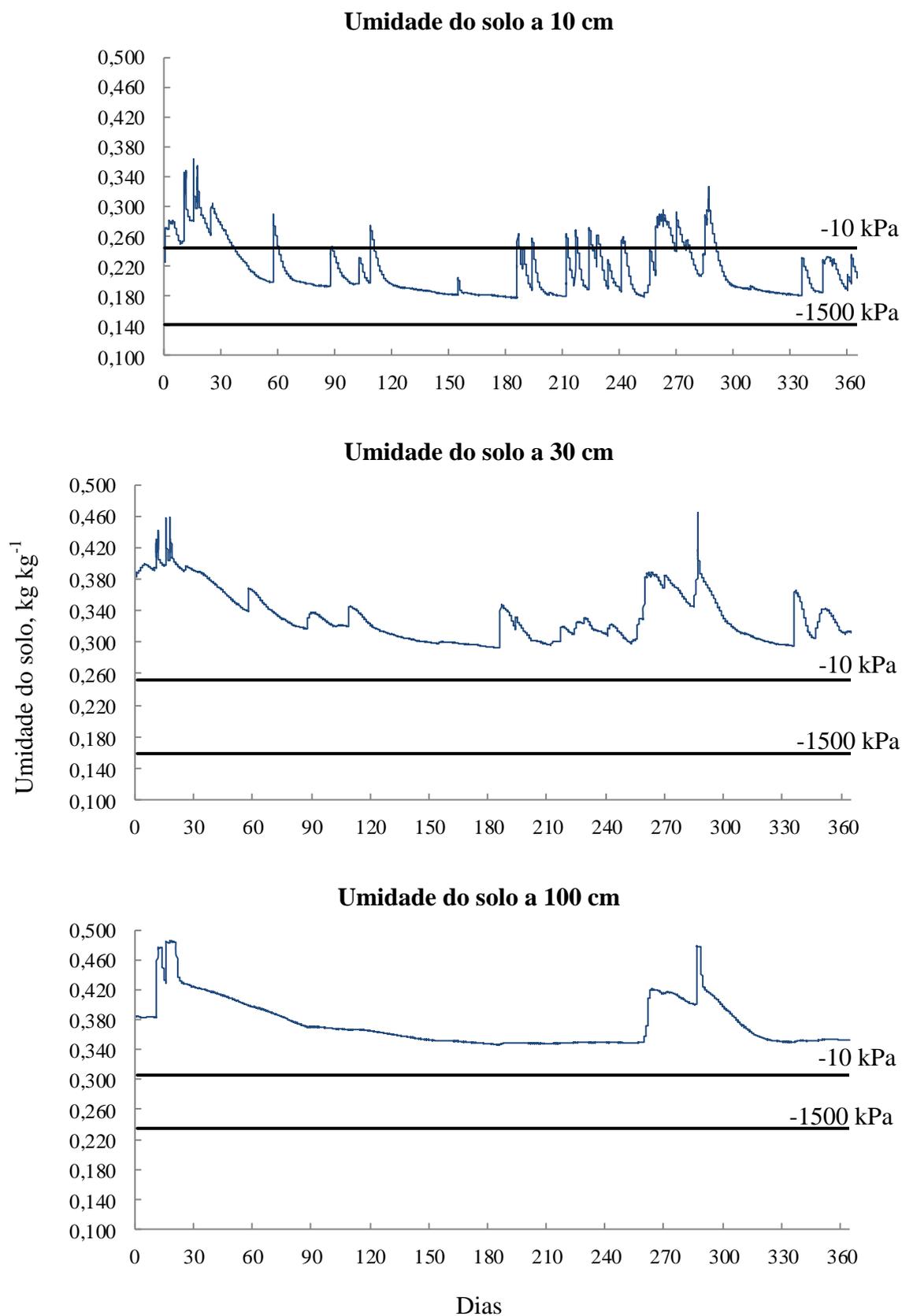


Figura 1A. Umidade do solo na mata, geofoma côncava, considerando a profundidade de amostragem, no período de 01/03/2009 (dia 0) a 28/02/2010 (dia 365). As linhas horizontais representam a retenção de água no solo a -10 e -1500 kPa.

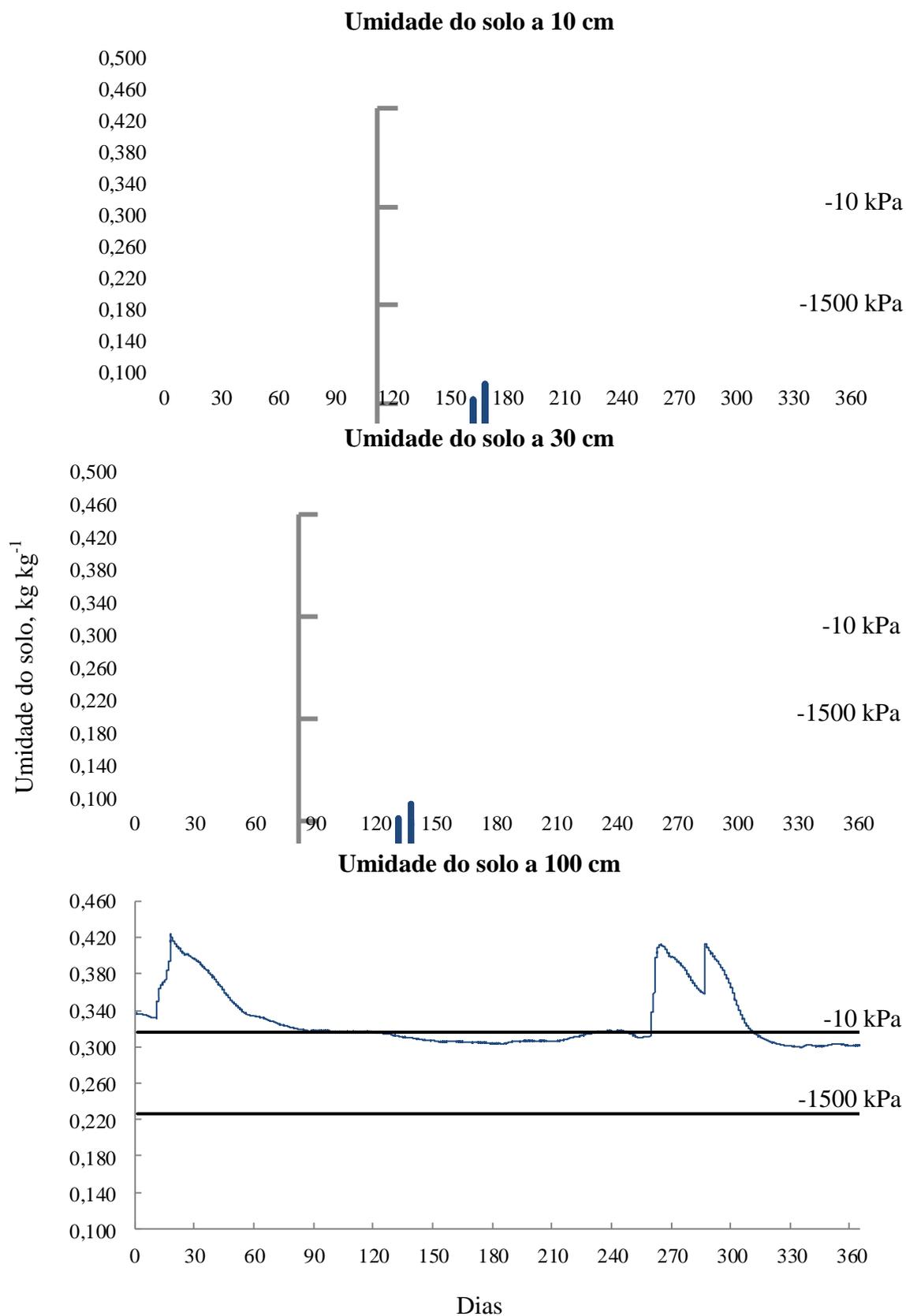


Figura 2A. Umidade do solo na mata, geoforma convexa, considerando a profundidade de amostragem, no período de 01/03/2009 (dia 0) a 28/02/2010 (dia 365). As linhas horizontais representam a retenção de água no solo a -10 e -1500 kPa.

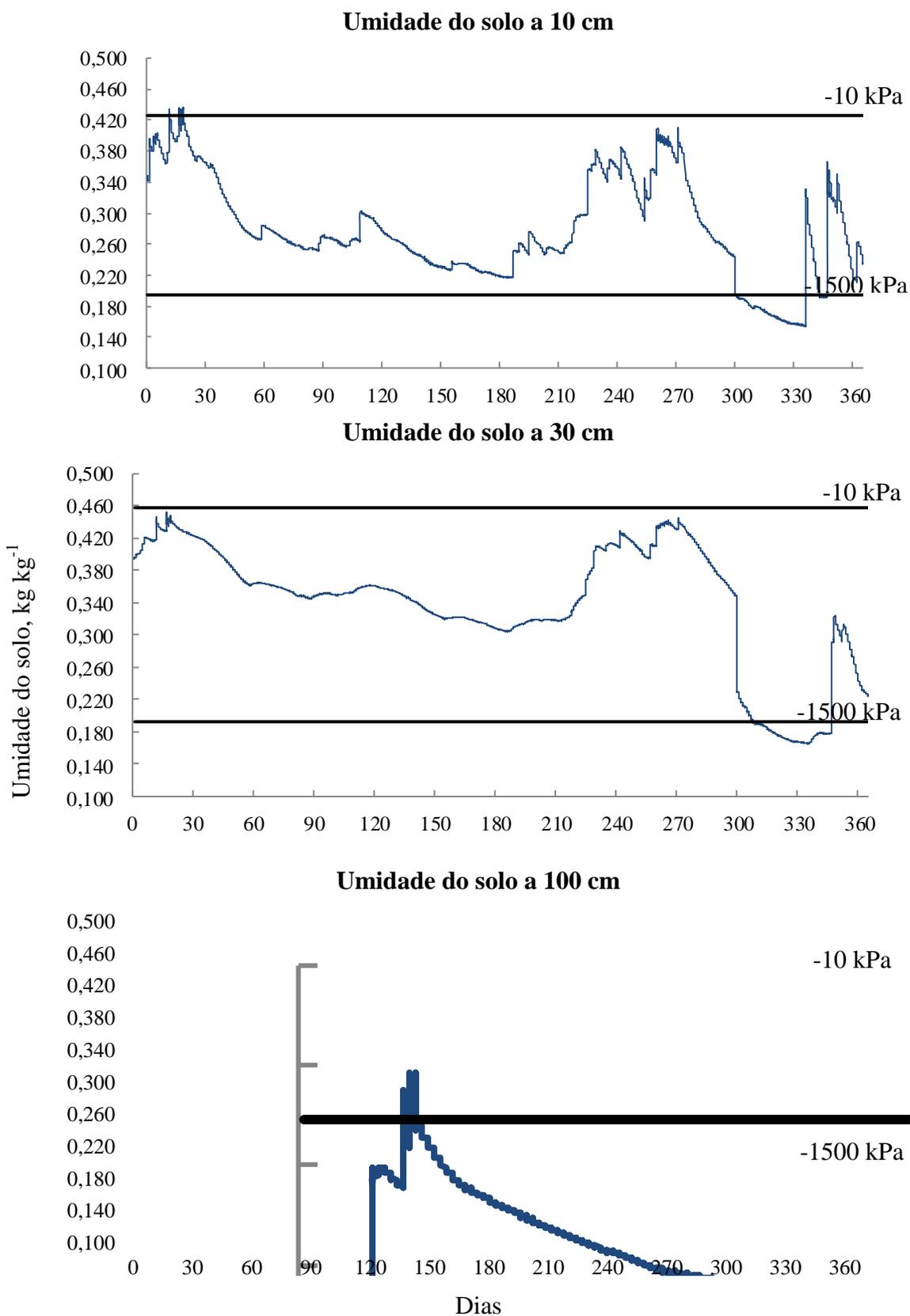
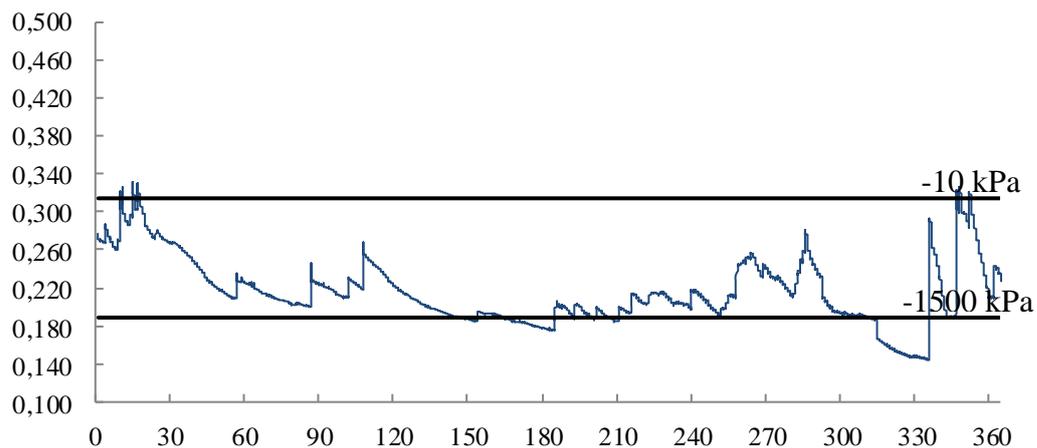
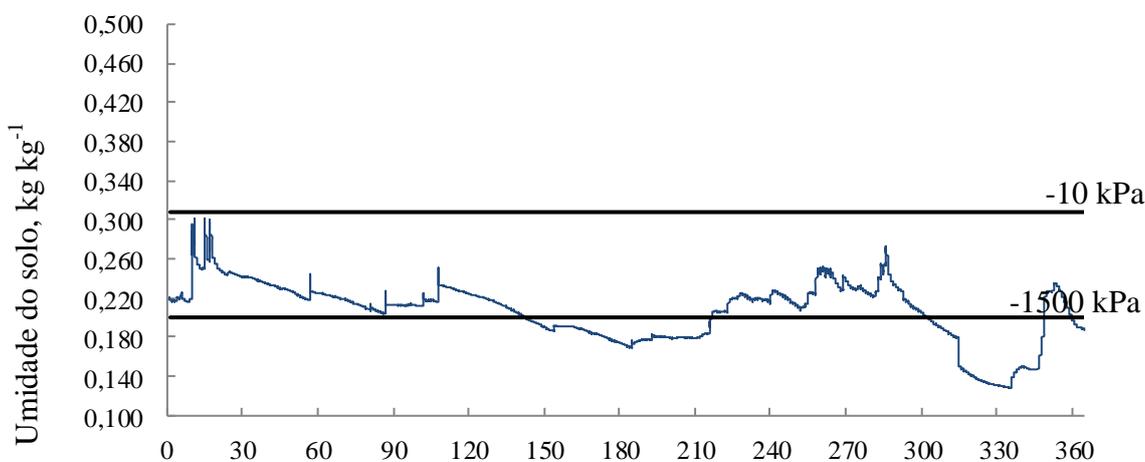


Figura 3A. Umidade do solo no café, geofoma côncava, considerando a profundidade de amostragem, no período de 01/03/2009 (dia 0) a 28/02/2010 (dia 365). As linhas horizontais representam a retenção de água no solo a -10 e -1500 kPa.

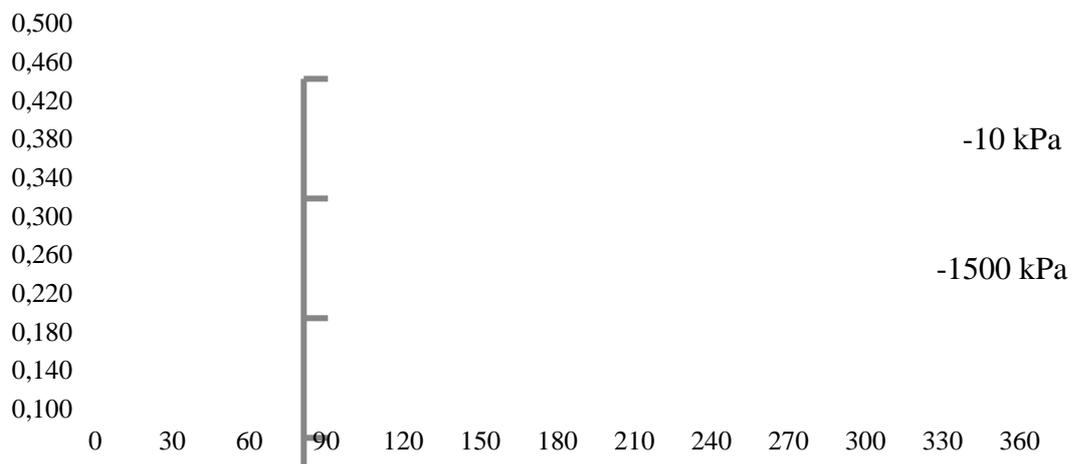
Umidade do solo a 10 cm



Umidade do solo a 30 cm



Umidade do solo a 100 cm



Dias

Figura 4A. Umidade do solo no café, geoforma convexa, considerando a profundidade de amostragem, no período de 01/03/2009 (dia 0) a 28/02/2010 (dia 365). As linhas horizontais representam a retenção de água no solo a -10 e -1500 kPa.

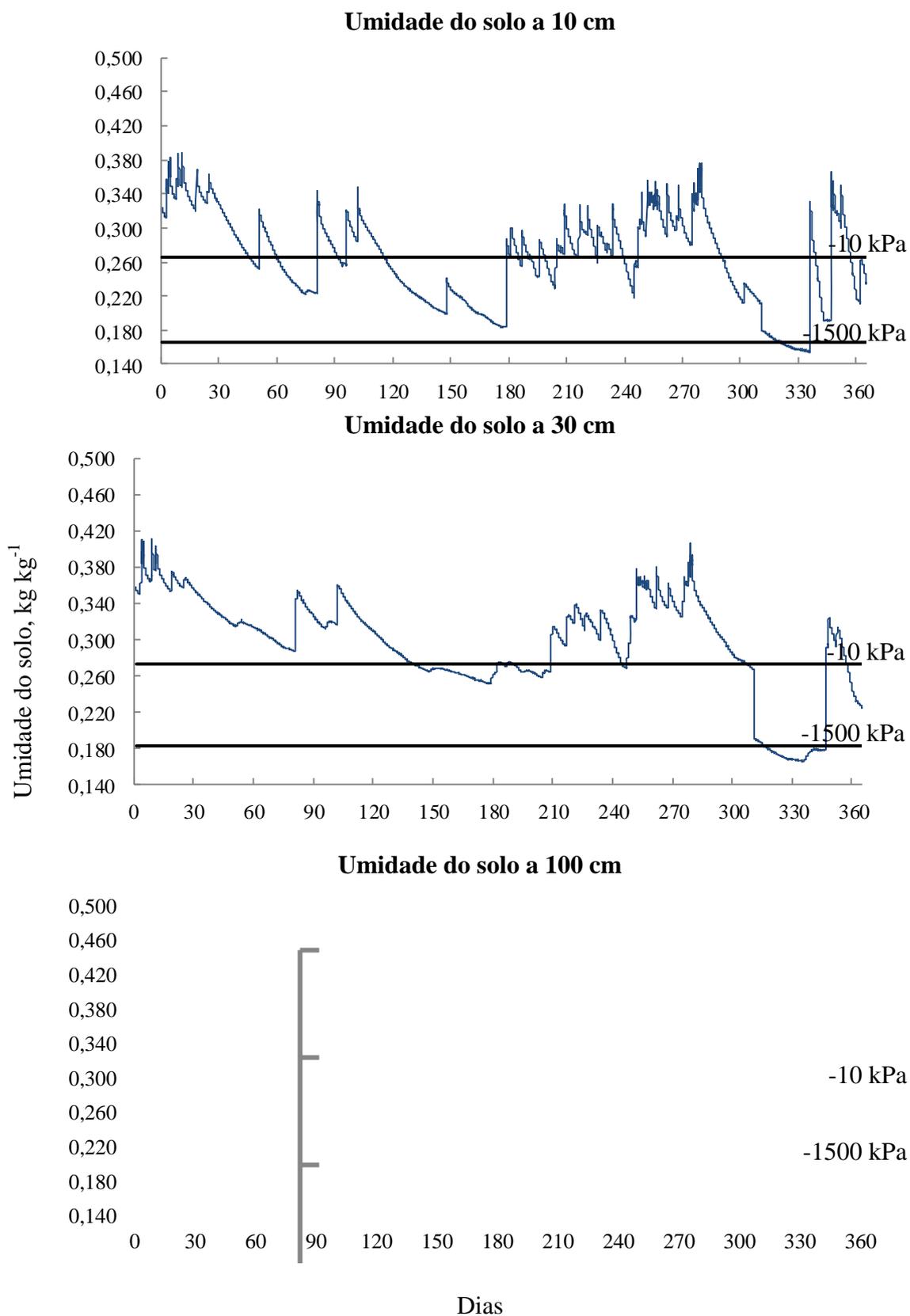
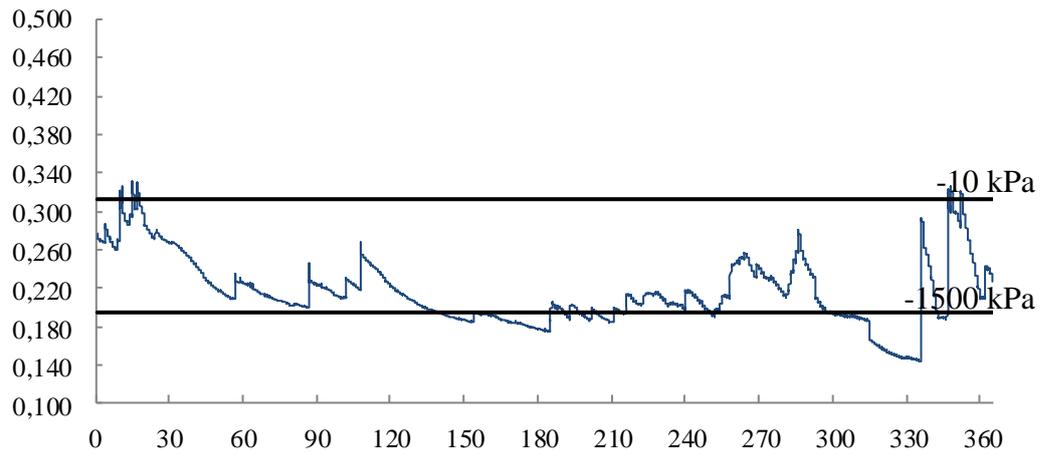
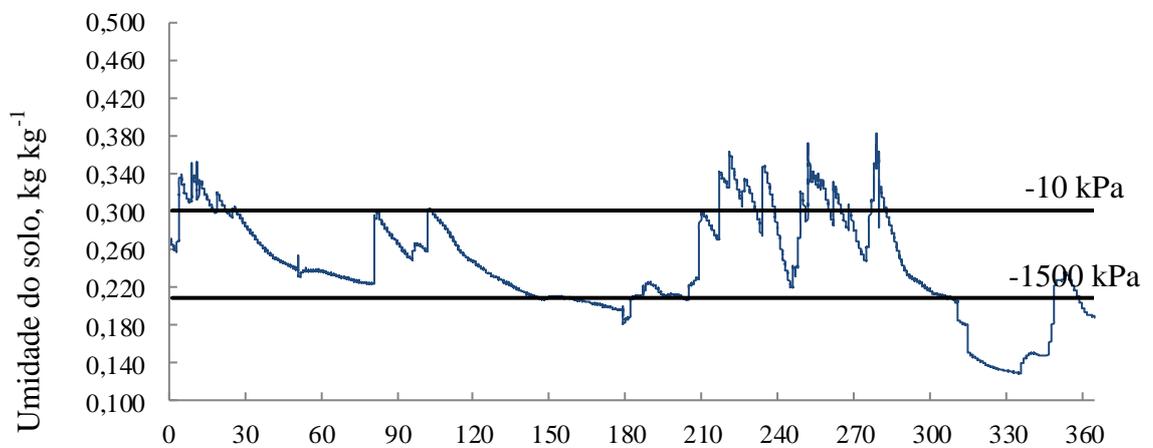


Figura 5A. Umidade do solo no eucalipto, geoforma côncava, considerando a profundidade de amostragem, no período de 01/03/2009 (dia 0) a 28/02/2010 (dia 365). As linhas horizontais representam a retenção de água no solo a -10 e -1500 kPa.

Umidade do solo a 10 cm



Umidade do solo a 30 cm



Umidade do solo a 100 cm

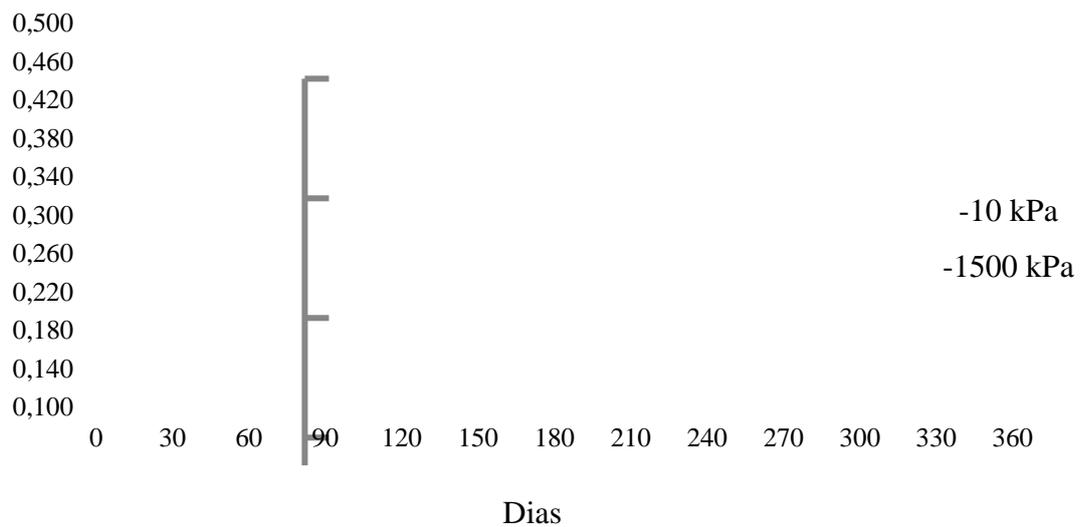


Figura 6A. Umidade do solo no eucalipto, geoforma convexa, considerando a profundidade de amostragem, no período de 01/03/2009 (dia 0) a 28/02/2010 (dia 365). As linhas horizontais representam a retenção de água no solo a -10 e -1500 kPa.

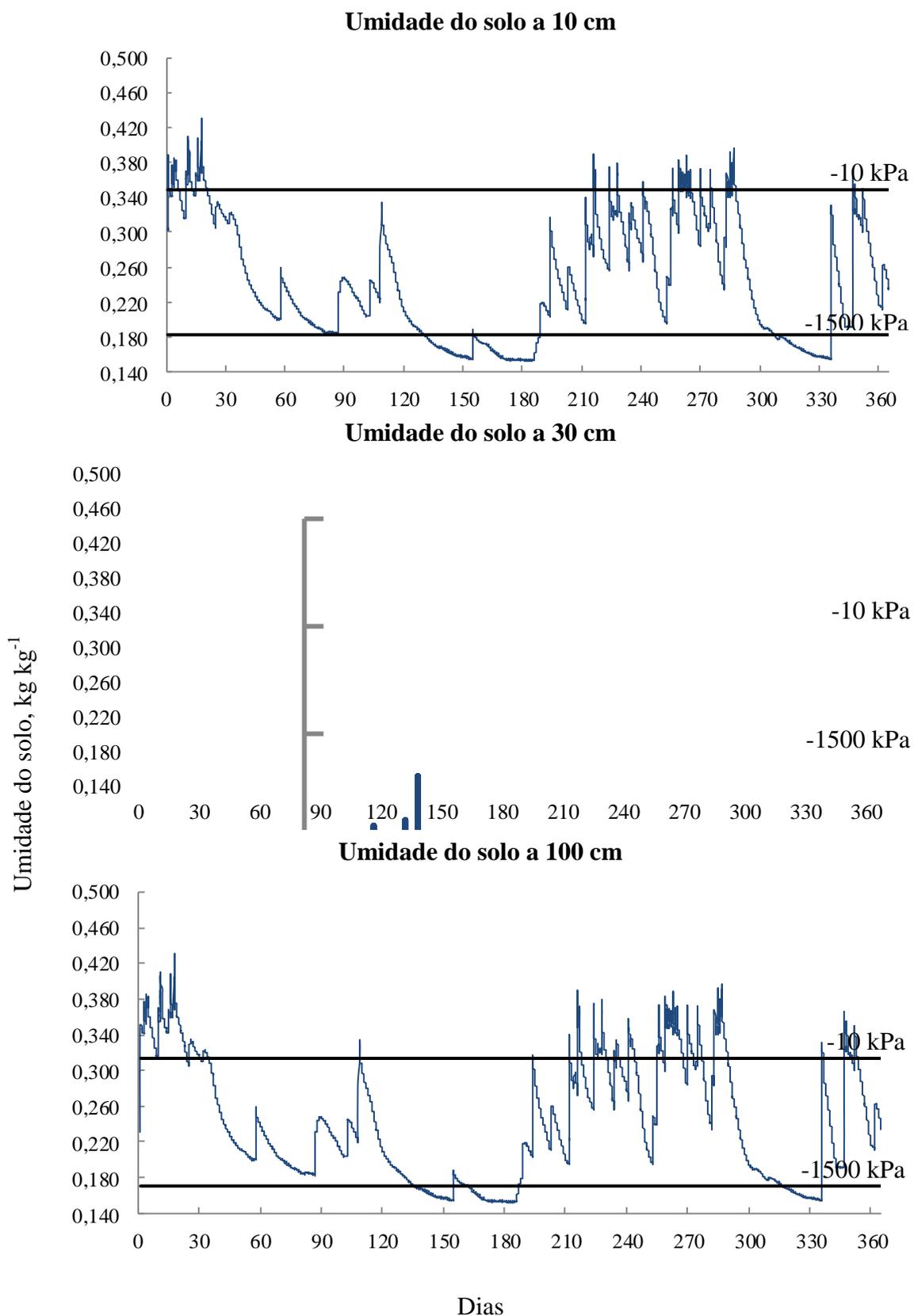


Figura 7A. Umidade do solo na pastagem, geoforma côncava, considerando a profundidade de amostragem, no período de 01/03/2009 (dia 0) a 28/02/2010 (dia 365). As linhas horizontais representam a retenção de água no solo a -10 e -1500 kPa.

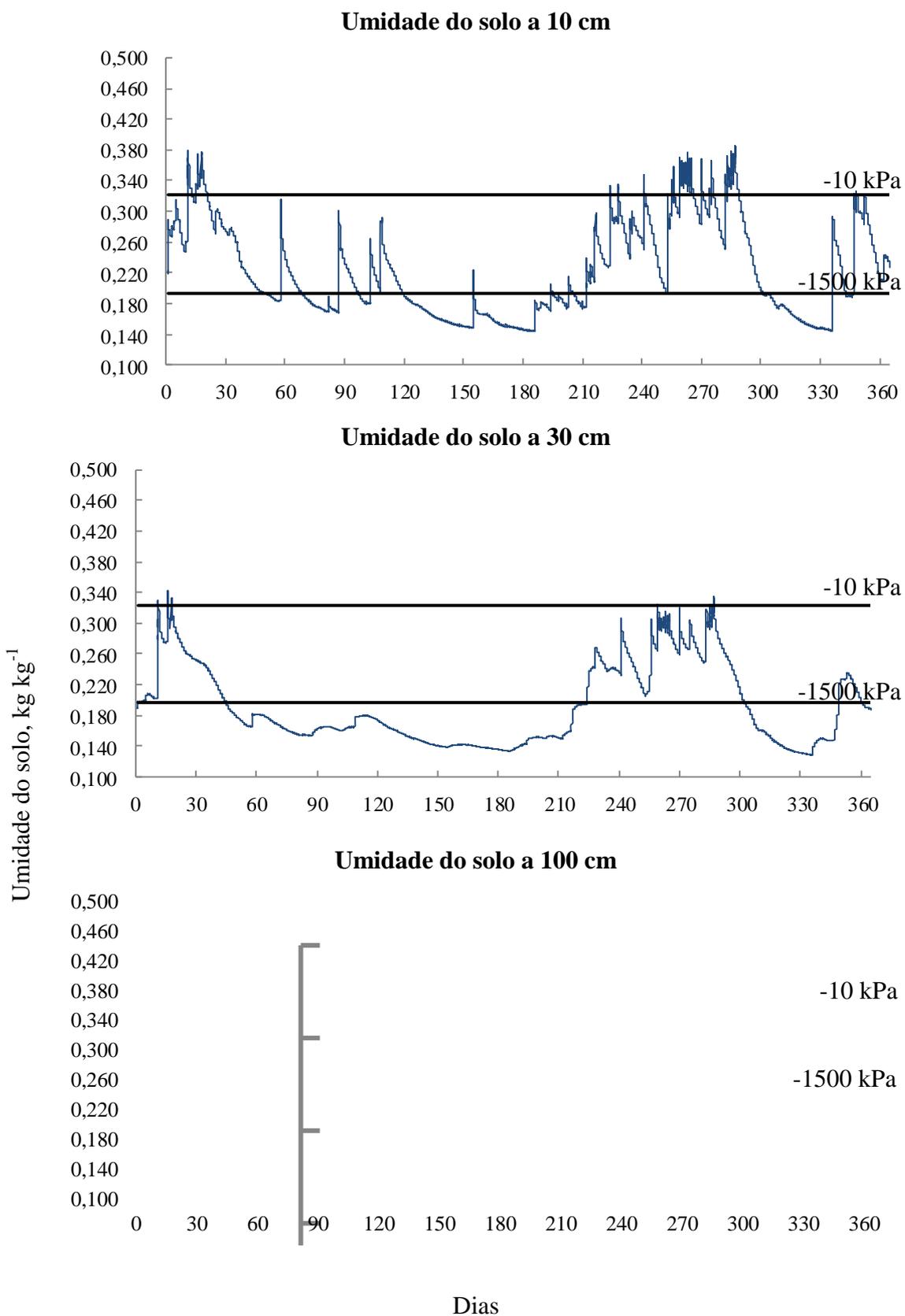


Figura 8A. Umidade do solo na pastagem, geoforma convexa, considerando a profundidade de amostragem, no período de 01/03/2009 (dia 0) a 28/02/2010 (dia 365). As linhas horizontais representam a retenção de água no solo a -10 e -1500 kPa.

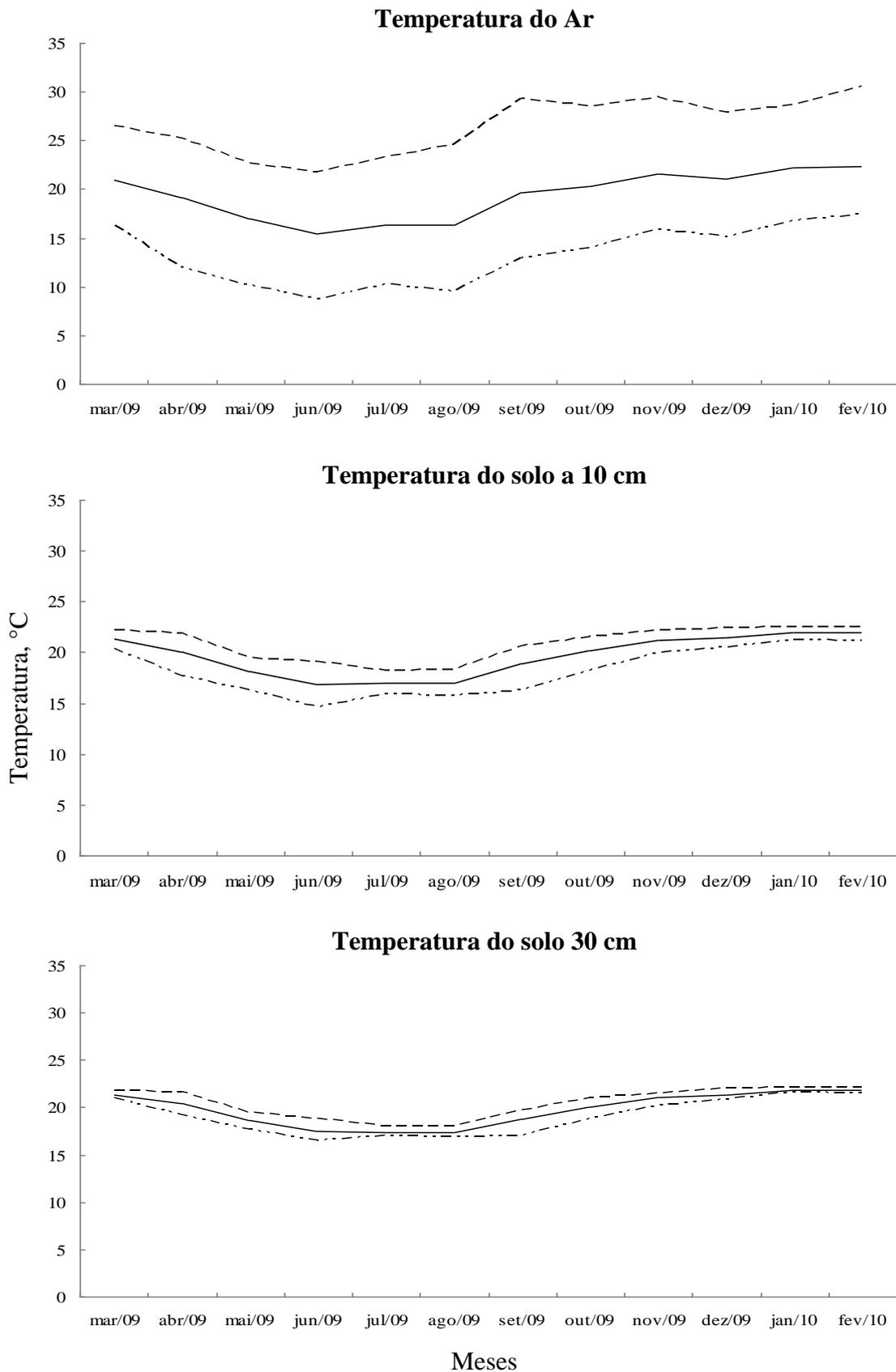


Figura 9A. Temperatura mensal, máxima, média e mínima, do ar e do solo nas profundidades 10 e 30 cm na mata, geoforma côncava, para o período de março de 2009 a fevereiro de 2010.

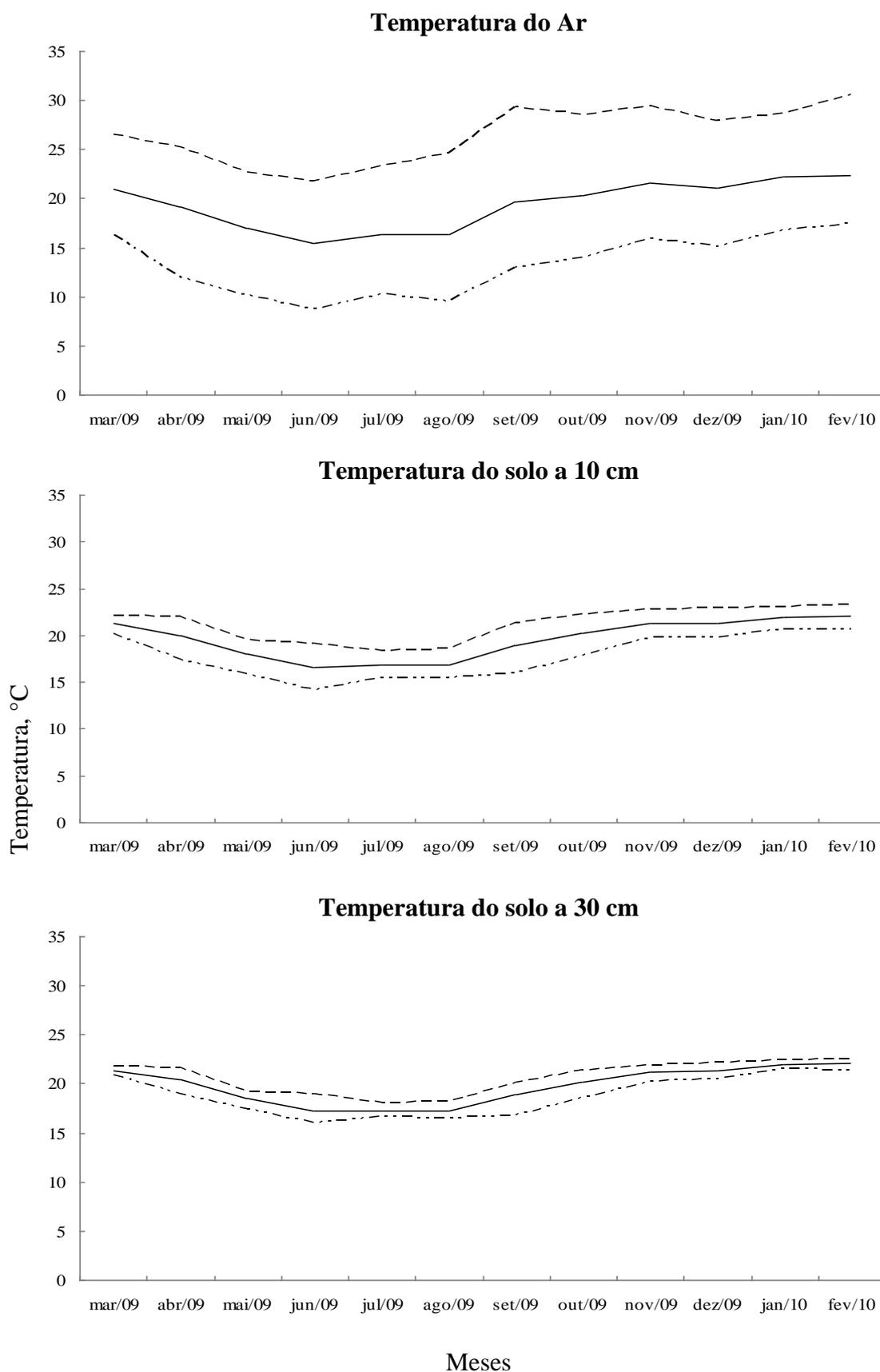


Figura 10A. Temperatura mensal, máxima, média e mínima, do ar e do solo nas profundidades 10 e 30 cm na mata, geofoma convexa, para o período de março de 2009 a fevereiro de 2010.

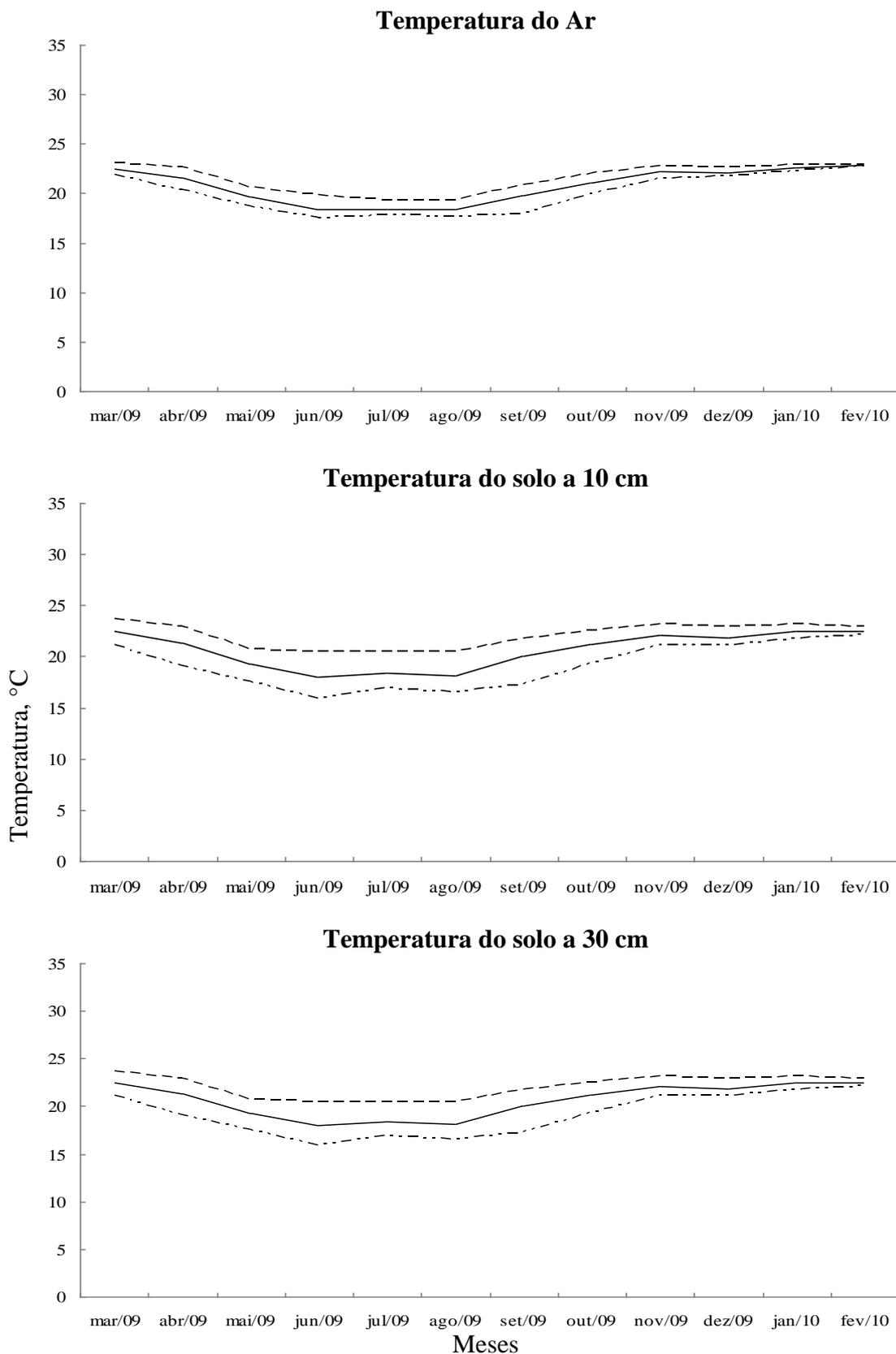


Figura 11A. Temperatura mensal, máxima, média e mínima, do ar e do solo nas profundidades 10 e 30 cm no café, geoforma côncava, para o período de março de 2009 a fevereiro de 2010.

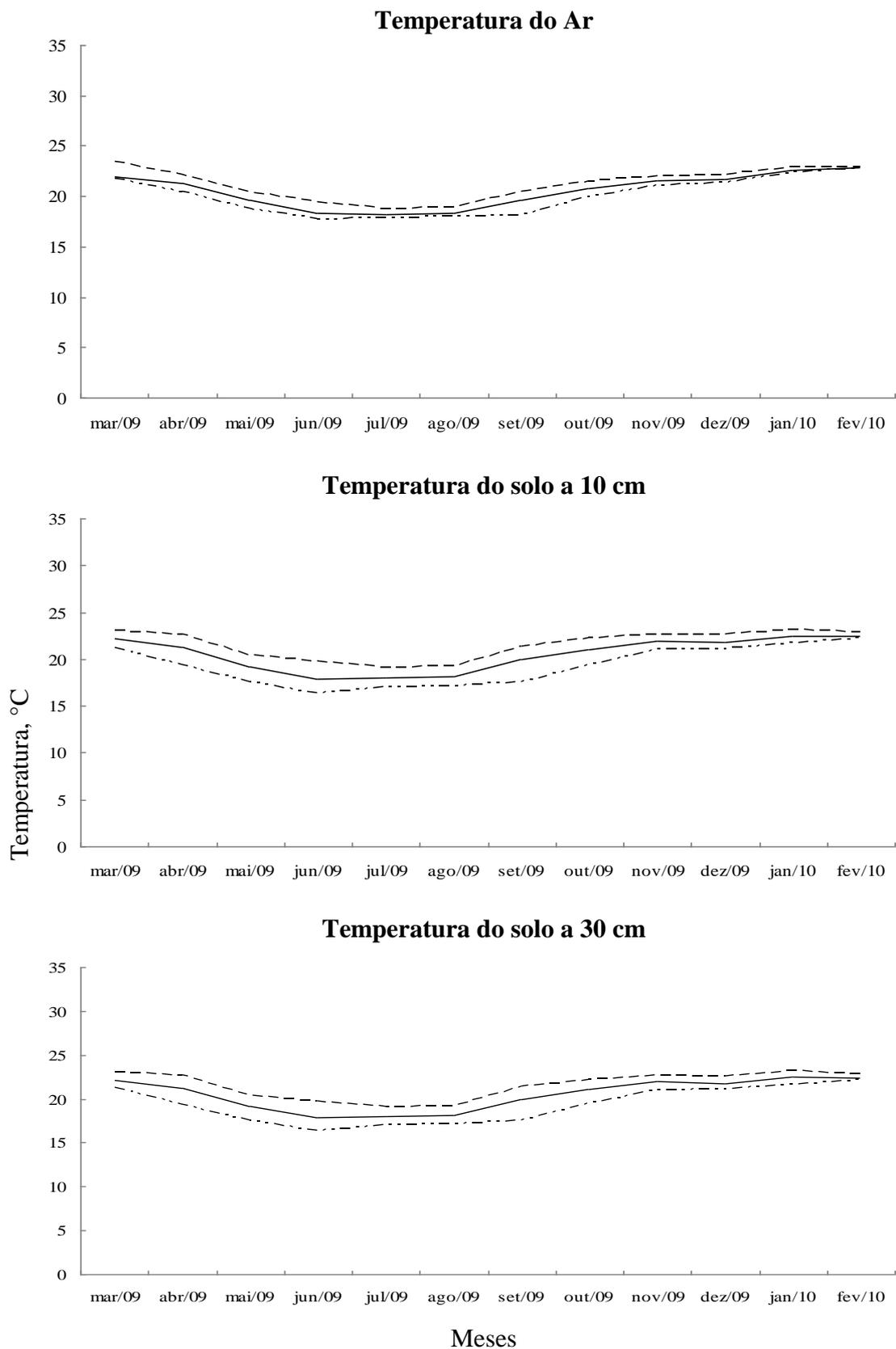


Figura 12A. Temperatura mensal, máxima, média e mínima, do ar e do solo nas profundidades 10 e 30 cm no café, geofoma convexa, para o período de março de 2009 a fevereiro de 2010.

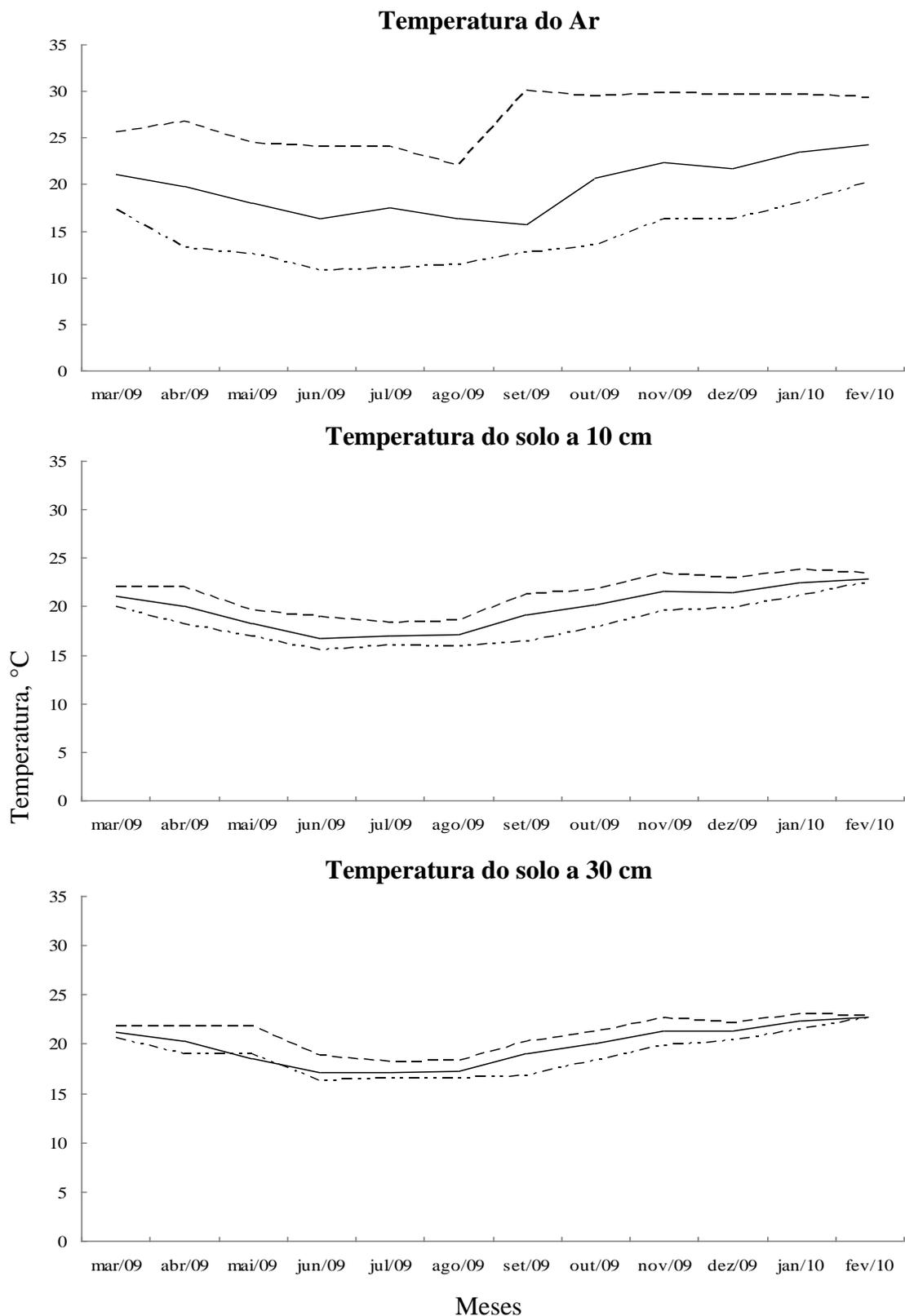


Figura 13A. Temperatura mensal, máxima, média e mínima, do ar e do solo nas profundidades 10 e 30 cm no eucalipto, geofoma côncava, para o período de março de 2009 a fevereiro de 2010.

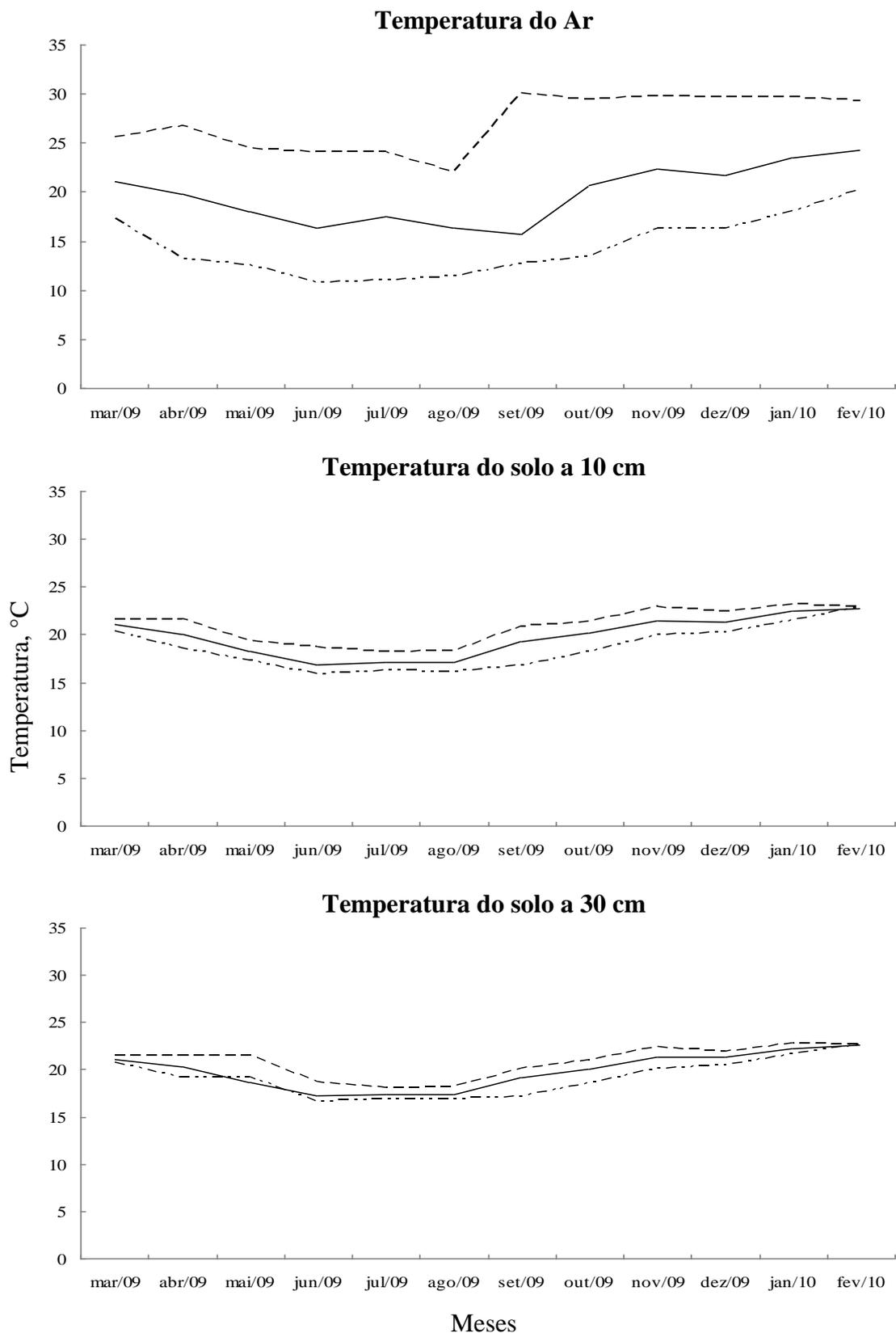


Figura 14A. Temperatura mensal, máxima, média e mínima, do ar e do solo nas profundidades 10 e 30 cm no eucalipto, geofoma convexa, para o período de março de 2009 a fevereiro de 2010.

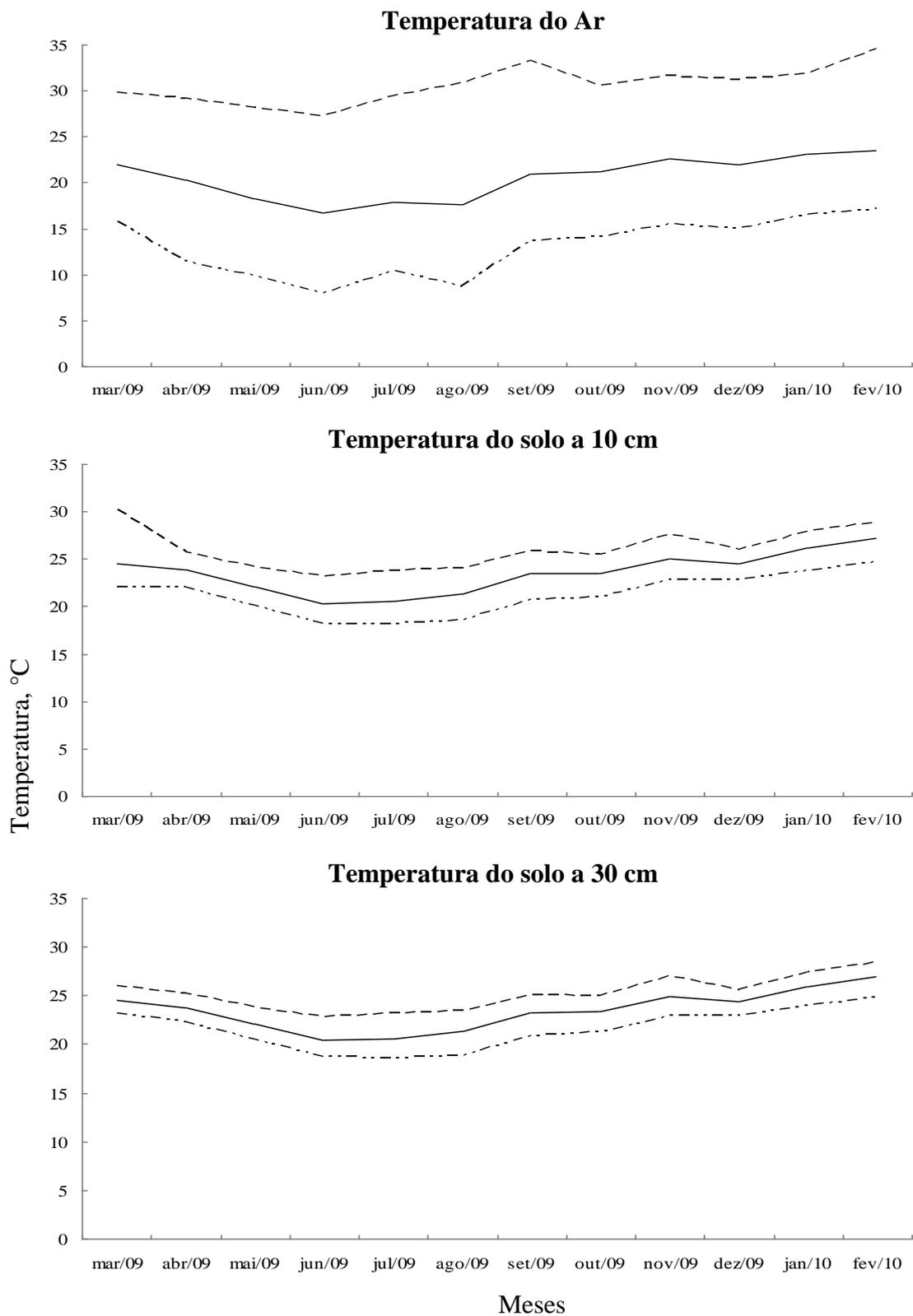


Figura 15A. Temperatura mensal, máxima, média e mínima, do ar e do solo nas profundidades 10 e 30 cm na pastagem, geoforma côncava, para o período de março de 2009 a fevereiro de 2010.

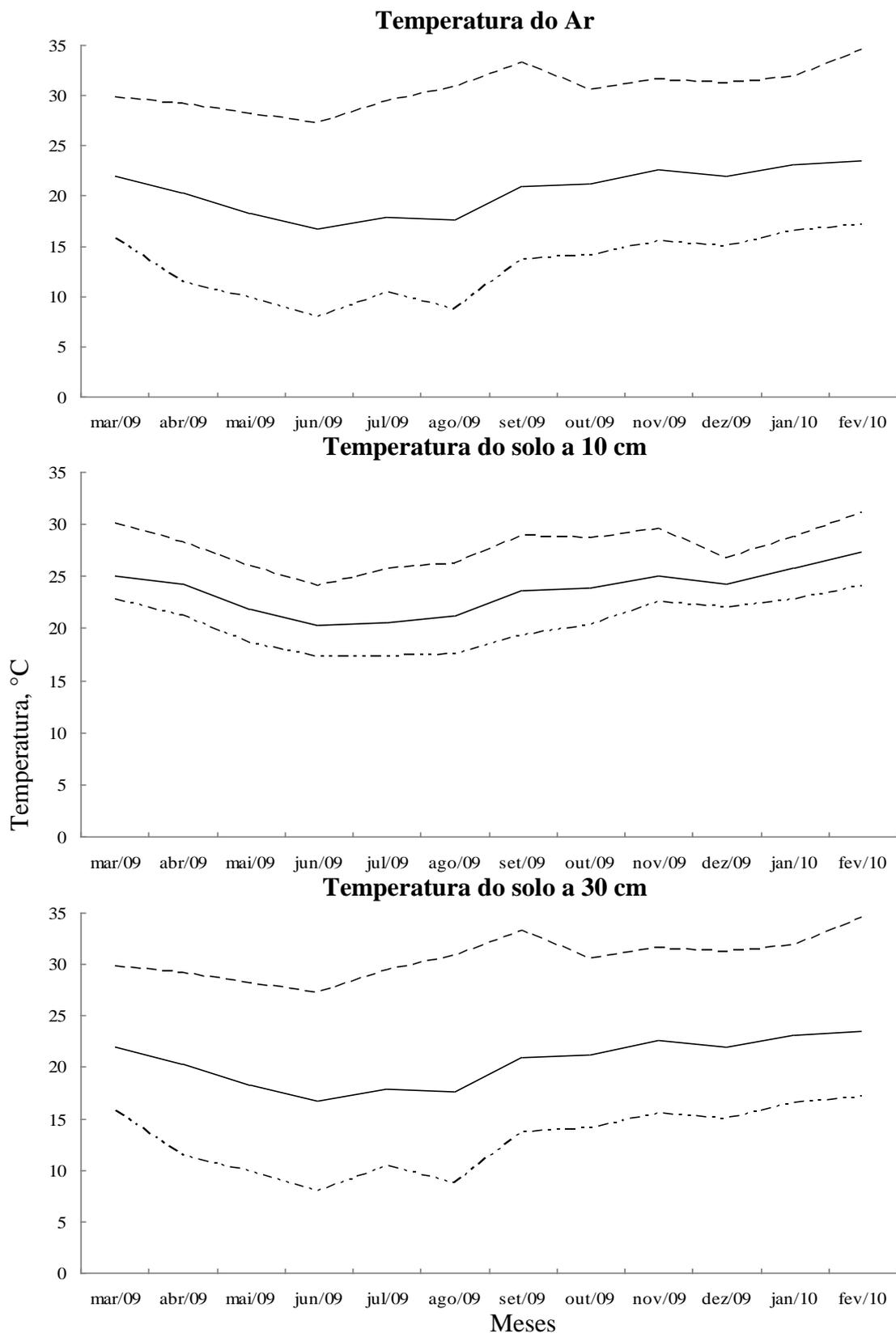


Figura 16A. Temperatura mensal, máxima, média e mínima, do ar e do solo nas profundidades 10 e 30 cm na pastagem, geoforma convexa, para o período de março de 2009 a fevereiro de 2010.