

ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO DE MATA CILIAR EM ZONAS URBANAS

Johnatan Palmer da Silva Medeiros, Fabrício Pelizer Almeida, Mariana Alves Corrêa, Renner Ribeiro de Oliveira
Universidade de Uberaba, e-mail: johnatanpalmer@gmail.com

RESUMO

Discussões quanto as mudanças climáticas não são restritas a atualidade, políticas internacionais são discutidas e elaboradas há décadas, porém a atenção as zonas urbanas como área de interesse ambiental ainda são negligenciadas, apesar da fragilidade apresentada pelos ecossistemas proporcionar impactos ambientais e efeitos diretos aos núcleos populacionais dentro dessas áreas. Neste trabalho o potencial de áreas verdes em zonas urbanas foi avaliado com amostragem de solo em pontos distintos nas profundidades 00-20cm, 20-40cm e 40-60cm para teor de matéria orgânica e carbono orgânico através de procedimento termogravimétrico, estimativa de estocagem de carbono, além de mensuração da perda de solo e cálculo de valor econômico aparente, buscando viés de mercado para as melhorias propostas nas técnicas de conservação e manejo apresentadas por essas áreas.

PALAVRAS-CHAVE: Estoque de Carbono nos solos, Mata Ciliar, Zonas Urbanas

INTRODUÇÃO

A constatação de que o clima da Terra é sensível às concentrações atmosféricas de gases do efeito estufa (GEE) foi apresentada em trabalhos científicos há mais de um século. Com as alterações do clima planetário e os desenvolvimentos no domínio das ciências climáticas, fizeram aumentar as evidências da influência das ações antropológicas sobre o aquecimento global.

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) há necessidade de reduzir pela metade as emissões mundiais de dióxido de carbono (CO₂) até 2050, de modo a evitar os piores impactos das alterações climáticas ocasionadas pelo aquecimento global. A Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (CQNUMC), parte do evento ECO-92 no Rio de Janeiro, resultou coercitivamente no Protocolo de Quioto, discutido e negociado em Quioto no Japão em dezembro de 1997. Para o IPCC (2007) quando adotaram a Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, em 1992, os governos reconheceram que ela poderia ser a propulsora de ações mais enérgicas no futuro.

Dentre outras informações, mecanismos e técnicas que objetivam a redução da emissão de GEE preservando a capacidade das atividades antrópicas em manter a qualidade de vida da população mundial, os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo são um conjunto de instrumentos políticos ao nível de empresas e organizações, elencadas no Protocolo de Quioto na tentativa de minimização dos impactos causados pelas mudanças climáticas e nesta pauta, o sequestro de carbono é um dos mecanismos elucidados.

Conceitualmente, o sequestro de carbono consiste na absorção de grandes quantidades de CO₂ presentes na atmosfera, sendo os organismos fotossintetizantes presentes nos ecossistemas marinhos e terrestres os principais responsáveis pela captura do CO₂. O armazenamento pode ocorrer em ambientes naturais ou artificiais, sendo esses processos estudados e explorados desde sua apresentação no Protocolo de Quioto, em 1997.

O sequestro de carbono é um MDL que vinculado ao Comércio Internacional de Emissões proporcionaria viés econômico para implantação e aplicação de suas técnicas correlacionadas. Atualmente há interesse em sistemas de manejo para estocagem de carbono nos solos, sobretudo visando fertilidade agrícola (BAYER *et al.*, 2011), porém a conservação de solo sob vegetação natural demonstra-se alternativa propícia ao Desenvolvimento Sustentável (Rosa & Rosendo, 2012).

Essas perspectivas tornam-se mais representativas considerando os impactos em áreas distintas, como cidades ou pólos industriais. Essas diferenças referem-se principalmente a quantidade de pessoas correlacionadas às condições de mudanças climáticas nessas áreas e pela possível melhoria do clima apreciado, trazendo assim maiores benefícios para a qualidade de vida dessa população.

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS URBANAS

Os espaços urbanos são vistos tradicionalmente como setores de baixo interesse ambiental. Os impactos causados nesses espaços estão vinculados a um número cada vez maior de pessoas, sendo o planejamento urbano inadequado e a alta densidade demográfica dessas áreas que condenam a população a receber plenamente a carga dos efeitos negativos causados pelos diversos impactos ambientais aos quais essas áreas então suscetíveis.

Considerando-se os impactos ambientais ocasionados pela urbanização e a intensa transformação imposta aos ecossistemas, enfatizando-se as dinâmicas biofísicoquímicas do solo para este trabalho, a conservação e manejo adequado do solo em áreas verdes urbanas torna-se fator imprescindível para alcance de políticas públicas sustentáveis para os espaços urbanos (CHRISTOFOLETTI, 2012).

De acordo com Gonçalves & Guerra (2006) a urbanização tende a transformar de maneira drástica o meio físico das áreas urbanas ao longo do tempo. O espaço urbano, áreas de intensa concentração humana, torna-se ambientalmente sensível com a intensificação de ações antrópicas como a impermeabilização dos solos, “o desmatamento, a ocupação irregular, a erosão e o assoreamento dos canais fluviais, entre outras coisas” (GONÇALVES & GUERRA, 2006, p. 189).

A conservação e manejo adequado das matas ciliares demonstra-se alternativa assertiva à diminuição dos impactos antrópicos causados aos recursos naturais em espaços urbanos, pois possibilita que áreas sensíveis mantenham suas características e funções naturais, possibilitando a manutenção do equilíbrio e recalcitrância dos processos biofísicoquímicos que não permitem o colapso desses espaços.

São vários os pesquisadores que defendem em seus trabalhos científicos a conservação e manejo adequado das matas ciliares buscando evitar a perda de solo. Correchel *et al.* (2010), por exemplo, consideram que a mata ciliar “protege o solo contra a erosão pela retenção física das raízes, pela diminuição do impacto da água sobre o solo através das folhas e do caule e pelo recobrimento do solo por meio da formação da camada de serapilheira”.

Santos & Sparovek (2011) ressaltam a importância das matas ciliares como proteção aos recursos hídricos no que se refere a contaminação por partículas químicas potencialmente presentes nos sedimentos carreados nos mecanismos erosivos.

Nessa mesma perspectiva, o presente trabalho aborda a erosão como fator de perda de solo em mata ciliar em zona urbana, visando fomentar a conservação e manejo adequado dessas áreas, já que “muitas vezes os processos erosivos podem ser contidos ou amenizados se a cobertura vegetal for suficientemente densa para tal” (GONÇALVES & GUERRA, 2006, p. 189). A capacidade de absorção de carbono por parte do solo perdido nesses processos erosivos será estimada em creditação de carbono, buscando demonstrar a perda financeira causada pela conservação e manejo inadequado das áreas verdes urbanas analisadas neste trabalho.

CARBONO ORGÂNICO NO SOLO E O PAPEL CONSERVACIONISTA

Os solos têm grande potencial como sumidouro de carbono, sendo sua conservação e manejo adequado ferramentas imprescindíveis na busca pela mitigação das mudanças climáticas. O potencial de absorção de carbono pelos solos por ser estimado pelo acompanhamento da porção orgânica desse composto armazenado em sua estrutura.

Em ecossistemas naturais é mantido equilíbrio dinâmico entre cobertura vegetal e sistema biofísicoquímico do solo por meio da ciclagem de nutrientes resultando na formação e decomposição da matéria orgânica. Os processos de imobilização temporária das substâncias presentes na matéria orgânica ocorrem por meio das atividades metabólicas da microbiota do solo (FERREIRA *et al.*, 2008).

Dentre os componentes da matéria orgânica (M.O.) do solo, o carbono orgânico (C.O.) apresenta-se como fator determinante no estudo da dinâmica da ciclagem de nutrientes em relação às mudanças climáticas. O carbono orgânico imobilizado pelas atividades microrgânicas no solo torná-lo-ia temporariamente indisponível aos mecanismos do aquecimento global.

O aumento de processos erosivos promove a quebra de agregados, expondo a M.O. do solo às ações do intemperismo (FERREIRA *et al.*, 2008), impossibilitando que a microbiota fixe o C.O. presente no solo, liberando-o ao ar e



Figura 2: Localização das Áreas 1 e 2 no Parque Linear do Rio Uberabinha. Fonte: GOOGLE EARTH (2014); modificado pelo autor.

Tendo como órgão gestor a Prefeitura Municipal de Uberlândia (PMU), o Parque Linear do Rio Uberabinha foi inaugurado em 27 de fevereiro de 2010, mas seus ideais de criação foram concebidos há mais de 20 anos e previsto no Plano Diretor do município.

A justificativa pela demora em sua criação era a indisponibilidade de recursos para desapropriação dos terrenos para o parque. Esses recursos foram obtidos através de medida de compensação pela implantação do complexo energético Amador Aguiar I e II do Consórcio Capim Branco Energia, que também financiou a construção do parque juntamente a incentivos da PMU.

O Parque Linear do Rio Uberabinha situa-se na região oeste do município de Uberlândia – MG, entre as coordenadas geográficas 18°55' S e 48°18' O e UTM S = 7.905.430, E = 748.560 e Z = 780 m.

Segundo classificação climática de Köppen – Geiger, o município de Uberlândia tem o clima caracterizado como Aw – tropical de inverno seco.

A vegetação predominante no município de Uberlândia – MG é o cerrado periférico, caracterizado pela zona de transição entre o Cerrado e demais biomas brasileiros, estratificado entre herbáceo, arbustivo e arbóreo (UBERLÂNDIA, 2014).

O solo característico da área de estudo é do tipo LVAd, com presença de quartzo residual, sendo de textura médio – arenosa.

As áreas de estudo do presente trabalho apresentaram declividade de 30,33° para a Área 1 e 12,10° para a Área 2, sendo esse o principal fator de atenção para dimensionamento das ferramentas de manejo a serem aplicadas para conservação dos solos nas áreas escolhidas.

METODOLOGIA

A mensuração do potencial de sequestro de carbono na área verde de estudo será iniciada por meio da escolha de modelo matemático propício, possibilitando maior fidelidade dos resultados encontrados no que se refere a capacidade de EstC apresentado pelas porções de solo da mata ciliar na área escolhida.

Com a escolha do modelo matemático, serão avaliadas as variáveis já disponíveis em registros científicos e serão demonstradas na função de modelagem. Verificada a necessidade de coleta de dados, serão necessárias visitas ao local de estudo com ferramental apropriado e posteriormente considerados no modelo.

Pretende-se analisar em seguida as saídas de dados, bem como o comportamento das variáveis a partir dos coeficientes e significância do modelo. Há possibilidade de novos ajustes na composição de variáveis, ou eventual estruturação no modelo inicial.

O delineamento experimental das coletas foi o de inteiramente causalizado (DIC) com subparcelas, no esquema fatorial de 3 x 3 x 3, sendo 3 pontos diferentemente representativos da área de estudo, 3 profundidades (00-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm) e 3 repetições para cada um desses fatores.

As médias das subparcelas e as médias gerais dos tratamentos e profundidades, foram submetidas ao teste de Tukey à 5% de significância ($p > 0,05$). O aplicativo utilizado para análise experimental, bem como os testes comparativos de médias, foi o SISVAR, versão 5.3 (FERREIRA, 2010) e para plotagens dos gráficos de C.O. no perfil do solo o MINITAB Statistical software (2010).

Para cálculo do valor econômico aparente (VEA) utilizou-se como base de cálculo preços mínimos e máximos alcançados por leilões de créditos de carbono (Reduções Certificadas de Emissão) da Prefeitura da Cidade de São Paulo por meio da Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros (BM&FBOVESPA) e a cotação do Euro no final de maio de 2014 convertendo esse valor para a moeda nacional corrente (Real). Foi adotada essa metodologia de VEA por tratar-se de mecanismos já aplicado pela iniciativa pública para comercialização de CO₂eq.

Obtidos os resultados finais, conforme a expectativa e confiabilidade desses resultados pretende-se discuti-los e propor intervenções e estratégias na esfera da gestão pública e privada dessa área, considerando os interesses sociais, econômicos, políticos e ambientais.

MONITORAMENTO DO CARBONO NO SOLO EM ÁREAS URBANAS TROPICAIS

Solos ou sedimentos de baixa granulometria ($< 40\mu\text{m}$) podem ser aquecidos em sequências crescentes de temperatura (105°C, 16 horas e 300°C, 3,5 horas) para obtenção da quantidade de M.O. presente em sua estrutura, sendo que a porcentagem da diferença da perda de peso entre 105°C e 300°C representa essa quantidade de substâncias orgânicas. Para obtenção do C.O. o valor encontrado para a M.O. é dividido por 1,724 (DIAS & LIMA, 2004).

Segundo Sato (2013) durante os processos termogravimétricos há perdas diferenciadas de massa por parte dos componentes da M.O. em cada uma das faixas de temperatura. Os grupos carboxílicos e fenólicos dos ácidos húmicos, fúlvicos e hidrocarbonetos são decompostos entre 150°C e 280°C.

Ainda de acordo com Sato (2013) entre 380°C e 530°C são decompostas substâncias aquosas constituídas por hidróxidos metálicos de ferro, alumínio, manganês e outros mais. A composição mineral dos solos altamente intemperizados do Cerrado apresenta abundantemente essas substâncias metálicas, sendo ponto de atenção adotar essa faixa de temperatura de trabalho.

Uma parcela desprezível do C.O. do solo não constitui os ácidos húmicos, fúlvicos e hidrocarbonetos. Assim sendo, no presente trabalho foram adotadas as temperaturas entre 105°C e 300°C como faixa de trabalho para obtenção da quantidade de C.O. na constituição do solo amostrado nas áreas de estudo.

As amostras de solo do Parque Linear do Rio Uberabinha foram coletadas utilizando o total de 54 cápsulas, 27 para cada uma das áreas, para a amostragem do solo da área de estudo. A coleta do solo na Área 1 para o presente trabalho pode ser acompanhada no documentário fotográfico, composto pelas Figuras 3 a 10.



Figura 3: Delimitação da Área 1. Fonte: GOOGLE EARTH (2014); modificado pelo autor.



Figura 4: Vista Geral da Área 1. Fonte: Acervo do autor.



Figura 5: Pontos de Amostragem da Área 1. Fonte: GOOGLE EARTH (2014); modificado pelo autor.



Figura 6: Trado com profundidades marcadas. Fonte: Acervo do autor.



Figura 7: Procedimento de Coleta. Fonte: Acervo do autor.



Figura 8: Ponto 1 na Área 1. Fonte: Acervo do autor.



Figura 9: Ponto 2 na Área 1. Fonte: Acervo do autor.



Figura 10: Ponto 3 na Área 1. Fonte: Acervo do autor.

A área total definida como Área 1 é de aproximadamente 275 m² (Figura 3), sendo a cota x igual à 12,5 m e cota y igual à 44 m. Obteve-se a declividade média de 30,33° ou 33,70% apresentada pela área (Figura 4), o que dificultou os procedimentos de coleta das amostras.

A cobertura vegetal dessa área é constituída principalmente por espécies arbóreas e rasteiras, sendo as espécies de vegetação arbustiva menos representativas. Pode-se que no Ponto 1 a vegetação rasteira tem índice de cobertura de aproximadamente 50% (Figura 8), sendo esse índice no Ponto 2 próximo a 0% (Figura 9) e no Ponto 3 de aproximadamente 85% (Figura 10).

Pode-se observar também que no Ponto 1 a vegetação arbórea cobre totalmente seu espaço (Figura 8), estando essa cobertura também presente no Ponto 2 (Figura 10) e parcialmente presente no Ponto 3 (Figura 10). Observa-se também que no Ponto 2 há formação de serapilheira (Figura 9).

A coleta do solo na Área 2 para o presente trabalho pode ser acompanhada no documentário fotográfico, composto pelas Figuras 11 a 16.



Figura 11: Delimitação da Área 2. Fonte: GOOGLE EARTH (2014); modificado pelo autor.



Figura 12: Vista Geral da Área 2. Fonte: Acervo do autor.



Figura 13: Pontos de Amostragem da Área 2. Fonte: GOOGLE EARTH (2014); modificado pelo autor.



Figura 14: Ponto 1 na Área 2. Fonte: Acervo do autor.



Figura 15: Ponto 2 na Área 2. Fonte: Acervo do autor.



Figura 16: Ponto 3 na Área 2. Fonte: Acervo do autor.

A área total da Área 2 é de aproximadamente 377,5 m² (Figura 11), sendo a cota x igual à 11 m e cota y igual à 43,7 m. A declividade média obtida da área é de 12,10° ou 13,44%, conforme representado na Figura 13.

A cobertura vegetal dessa área é constituída principalmente por espécies rasteiras e arbustivas, sendo as gramíneas mais representativas, havendo poucas espécies arbóreas. Podemos observar que no Ponto 1 a vegetação rasteira tem índice de cobertura de aproximadamente 0% (Figura 14), sendo esse índice repetido no Ponto 2 (Figura 15) e no Ponto 3 (Figura 16) de aproximadamente 85%. Não há cobertura arbustiva ou arbórea em qualquer um dos 3 pontos.

As 54 amostras foram levadas ao laboratório e pesadas em três momentos: antes do procedimento termogravimétrico, após exposição a 105°C por 16 horas e após exposição a 300°C por 3 horas e meia. Para a obtenção do peso médio foi utilizado a balança da Bel Engineering modelo Mark 210 A, que compreende medidas entre 0,100 mg e 210 mg. Para aquecimento foi utilizada mufla Infinit modelo LM50, que permite obter temperaturas totais mínimas em torno de 50°C e máximas de 300°C. O procedimento laboratorial pode ser acompanhado nas Figuras 17 a 21.



Figura 17: Amostras de solo das duas áreas. Fonte: Acervo do autor.



Figura 18: Pesagem da amostra 1-20-1. Fonte: Acervo do autor.



Figura 19: Pesagem da amostra 3-40-3. Fonte: Acervo do autor.



Figura 20: Pesagem da amostra 3-60-3. Fonte: Acervo do autor.



Figura 21: Aquecimento. Fonte: Acervo do autor.

As pesagens foram anotadas e repassadas para tabela com objetivo de cálculo do EstC das áreas de estudo. Segundo Rosa & Rosendo (2012) o cálculo do EstC ($\text{mg C} \cdot \text{ha}^{-1}$) leva em consideração o teor de C.O. obtido nas amostras analisadas, a densidade aparente do solo dessas amostras e a espessura da estudada. Com a Equação 1 alterou-se os cálculos apresentados por Rosa & Rosendo (2012) para obtenção de unidade mais apropriada ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) ao objetivo do presente trabalho:

$$\text{EstC} = \%C_{\text{org.}} \times \text{DS} \times \text{Prof.} \quad \text{equação (1)}$$

Sendo:

EstC = Estoque de Carbono no Solo – ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$);

$\%C_{\text{org.}}$ = Teor de Carbono Orgânico no Solo – (g/100g);

DS = Densidade Aparente do Solo – (g/cm^3);

Prof. = Profundidade (espessura) do perfil de Solo estudado (cm).

Dentre os fatores que afetam substancialmente a quantidade de carbono estocado no solo, os processos erosivos são de fato, um dos principais parâmetros à serem considerados nessa dinâmica de manutenção e disponibilidade de materiais orgânicos.

Se for considerada a fragilização dos solos pelo alto intemperismo das regiões tropicais, o potencial de erosão para solos tropicais deve apresentar aumento proporcional à essa fragilização. Juntando-se a isso os impactos negativos causados pelas ações antrópicas nas características dos solos, desencadeados pela conservação insuficiente e manejo inadequado, a potencialização da perda de solo em áreas urbanas tropicais apresenta-se como problemática ambiental irrefutável.

Segundo Paiva (2001) a EUPS é um modelo amplamente aplicado atualmente para estimativas do deslocamento de partículas de solo causado pela erosão, sendo assim ferramenta sistêmica para gestão e monitoramento de solos no que diz respeito à sua conservação. Após sua última revisão (Equação 2) a EUPS passou a ser assim representada:

$$\text{PS} = \text{R} \times \text{K} \times \text{L} \times \text{S} \times \text{C} \times \text{P} \quad \text{equação (2)}$$

Sendo:

PS = Perda Anual de Solo ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) – devido ao escoamento superficial;

R = Fator Erosividade (chuvas) – ($\text{MJ}/\text{ha}/(\text{mm}/\text{h})$);

K = Fator Erodibilidade do Solo – $\text{t}/\text{MJ}/\text{ha}/(\text{mm}/\text{h})$;

LS = Fator de Declividade e Comprimento de Encosta (adimensional);

C = Fator Uso/Cobertura Vegetal e Manejo (adimensional);

P = Fator Práticas Conservacionistas (adimensional).

Em que:

$$\text{R} = \Sigma(\text{EI}) \quad \text{equação (3)}$$

Sendo:

R = Fator Erosividade (chuvas) – ($\text{MJ}/\text{ha}/(\text{mm}/\text{h})$);

(EI) = Média mensal do índice de erosão em MJ.mm/h.ha;

$$EI = 6,886 \times (Pm^2/P)^{0,85} \quad \text{equação (4)}$$

Sendo:

Pm = Precipitação média mensal (em mm);

P = Precipitação anual (em mm).

Em que:

$$K = [2,1 \times 10^{-4} \times M^{1,14} \times (12 - ka) + 3,25 \times (kb - 2) + 2,5(kc - 3)] \times 0,001317 \quad \text{equação (5)}$$

Sendo:

K = Fator Erodibilidade do Solo – t/MJ/ha/(mm/h);

M = (% de silte + areia muito fina) x (100 - % argila);

ka = % de matéria orgânica;

kb = Coeficiente relativo à estrutura do solo (b=1 para estrutura granular muito fina; b=2 para estrutura granular fina; b=3 para estrutura granular média ou grossa; b=4 para estrutura em blocos, laminar ou massiva);

kc = Classe de permeabilidade (c=1 para permeabilidade rápida; c=2 para permeabilidade moderada a rápida; c=3 para permeabilidade moderada; c=4 para permeabilidade lenta a moderada; c=5 para permeabilidade lenta; c= 6 para permeabilidade muito lenta).

Em que:

$$LS = 0,00984 \times L^{0,63} \times S^{1,18} \quad \text{equação (6)}$$

Sendo:

LS = Fator de Declividade e Comprimento de Encosta (adimensional);

L = Comprimento de rampa (m) – $10m \leq L \leq 180m$;

S = Declividade média da encosta (%) – $S \leq 35\%$.

Os fatores adimensionais Uso/Cobertura Vegetal e Manejo e Práticas Conservacionistas são tabelados e seguem parâmetros relativos às especificidades de cada uma das características no que envolve a dinâmica do solo.

Apresentadas as ferramentas metodológicas aplicadas ao monitoramento do carbono (C) no solo em áreas urbanas tropicais, pretende-se mensurar os aspectos técnicos e por conseguinte, financeiros, em função do tipo de prática adotada quanto aos solos urbanos, no caso específico do trabalho o Parque Linear do Rio Uberabinha.

A proposta está em consonância com o MDL para mitigação das mudanças climáticas, principalmente por meio da absorção do C presente nos GEE, na esfera do poder público dos municípios. Os resultados analíticos, com enfoque no C_{org} serão demonstrados e discutidos especificamente, bem como as possíveis estratégias de melhoria e retorno com a adoção de novas práticas de uso e ocupação do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fatores climáticos, biofísicoquímicos, estruturais, geotécnicos, de manejo e de conservação são as variáveis empregadas para obtenção do índice de perda de solo quando aplicadas ao modelo EUPS. Na tabela 1 são apresentados os resultados para cada um dos fatores e a perda de solo para as Áreas 1 e 2.

A Área 1 apresenta LVAd com declividade de 33,70%, alta cobertura vegetal constituída principalmente por espécies arbóreas de grande porte e gramíneas, além de formação de serapilheira em alguns pontos. Já a Área 2 apresenta LVAd com declividade de 13,44%, cobertura vegetal constituída principalmente por espécies rasteiras, além de pontos onde a vegetação é ausente.

Pode-se observar a igualdade ou proximidade dos valores encontrados para os fatores erosividade (R), erodibilidade do solo (K), uso/cobertura vegetal e manejo (C) e práticas conservacionistas (P). Essa semelhança deu-se principalmente porque as variáveis do modelo, localização geográfica, características climáticas, pedogênese do solo, vegetação predominante, metodologia de manejo e conservação são fatores compartilhados pelas áreas.

Ocorrência contrária ao conjunto de variáveis semelhantes é percebida no fator declividade e comprimento de encosta, já que as declividades do solo nas Áreas 1 e 2 são bastante diversas, sendo a declividade da Área 1 mais que duplicada em relação à Área 2. Desse modo, no que diz respeito à perda de solo nas duas áreas, a Área 1 apresentou maior perda que a Área 2, tendo como principal motivador a alta declividade apresentada pela Área 1 (33,70%).

Tabela 1. Perda de solo (em $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) e seus fatores relacionados para as Áreas 1 e 2.

	R	K	LS	C	P	Perda de Solo
Área 1	988,08	0,02	2,58	0,04	1,00	2,02
Área 2	988,08	0,02	0,89	0,04	1,00	0,77

Outro fator de atenção, além da perda de solo, no que diz respeito a conservação e manejo das áreas estudadas foi a constatação de grau significativo de compactação no solo dessas áreas. Nas Tabelas 2 e 3 é possível visualizar a semelhança entre as densidades aparentes do solo nas três diferentes profundidades estudadas, semelhança essa que dá indícios dessa compactação.

Tabela 2. Avaliação de Médias¹ das Densidades Aparentes do Solo (em $g \cdot cm^{-3}$) na Área 1, dos três pontos coletados e três extratos de profundidades.

Tratamentos	00-20cm	20-40cm	40-60cm	Médias
Ponto 1	0,55 aAB	0,42 bB	0,61 aA	0,52 ab
Ponto 2	0,47 aA	0,50 abA	0,46 bA	0,48 b
Ponto 3	0,57 aA	0,60 aA	0,57 abA	0,58 a
Médias	0,53 A	0,51 A	0,55 A	

Nota: ¹ Médias com pelo menos uma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 3. Avaliação de Médias¹ das Densidades Aparentes do Solo (em g*cm⁻³) na Área 2, dos três pontos coletados e três extratos de profundidades.

Tratamentos	00-20cm	20-40cm	40-60cm	Médias
Ponto 1	0,70 aAB	0,58 bB	0,74 abA	0,67 a
Ponto 2	0,62 aB	0,74 aAB	0,84 aA	0,73 a
Ponto 3	0,67 aA	0,60 abA	0,67 bA	0,65 a
Médias	0,66 B	0,64 B	0,75 A	

Nota: ¹ Médias com pelo menos uma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Conquanto os índices de M.O., C.O. e EstC nos solos das áreas de estudos apresentem variações vinculadas às características biofísicoquímicas diversas entre as profundidades dos perfis do solo, os pontos de amostragem distintos e as técnicas de manejo e conservação adotadas de forma não-homogênea, há de se esperar singularidade entre os valores alcançados com a adoção da metodologia proposta no presente trabalho.

Pode-se observar que a média do percentual de M.O. no solo da Área 1 foi menor no Ponto 1 e maior nos Pontos 2 e 3 (Tabela 4). A baixa cobertura vegetal e a alta declividade apresentada pelo Ponto 1 foram determinantes para os menores valores de M.O., estando o Ponto 2 resguardado pela formação da serapilheira e o Ponto 3 pela alta cobertura vegetal. A homogeneidade apresentada pela média de M.O. entre as profundidades é fator a ser considerado para análise da recalitrância alcançada pelos sistemas biofísicoquímicos dessa área.

Tabela 4. Avaliação de Médias¹ dos Teores de Matéria Orgânica (em %) na Área 1, dos três pontos coletados e três extratos de profundidades.

Tratamentos	00-20cm	20-40cm	40-60cm	Médias
Ponto 1	2,27 cA	2,57 bA	2,52 bA	2,45 b
Ponto 2	3,51 bA	3,20 bA	3,91 aA	3,54 a
Ponto 3	4,44 aA	4,53 aA	3,49 aB	4,15 a
Médias	3,41 A	3,43 A	3,31 A	

Nota: ¹ Médias com pelo menos uma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Em relação à Área 2 observa-se maior teor de M.O. nas amostras do Ponto 3 (Tabela 5), sendo a alta cobertura de vegetação rasteira apresentada nesse local o fator principal para essa ocorrência. Também pode ser verificada homogeneidade entre as médias de M.O. para as profundidades adotadas.

Tabela 5. Avaliação de Médias¹ dos Teores de Matéria Orgânica (em %) na Área 2, dos três pontos coletados e três extratos de profundidades.

Tratamentos	00-20cm	20-40cm	40-60cm	Médias
Ponto 1	2,03 bA	2,72 abA	2,51 aA	2,42 b
Ponto 2	2,29 bA	2,31 bA	2,45 aA	2,35 b
Ponto 3	3,46 aA	3,25 aA	2,19 aB	2,97 a
Médias	2,60 A	2,76 A	2,38 A	

Nota: ¹ Médias com pelo menos uma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Na Área 1 os Pontos 2 e 3 apresentaram maior quantidade de C.O. que o Ponto 1 (Tabela 6). São fatores determinantes para maximização do C.O. nesses pontos a presença de serapilheira no Ponto 2 e o alto índice de cobertura vegetal do Ponto 3.

Tabela 6. Avaliação de Médias¹ dos Teores de Carbono Orgânico (em %) na Área 1, dos três pontos coletados e três extratos de profundidades.

Tratamentos	00-20cm	20-40cm	40-60cm	Médias
Ponto 1	1,31 cA	1,49 bA	1,46 bA	1,42 b
Ponto 2	2,04 bA	1,86 bA	2,27 aA	2,05 a
Ponto 3	2,58 aA	2,63 aA	2,02 aB	2,41 a
Médias	1,98 A	1,99 A	1,92 A	

Nota: ¹ Médias com pelo menos uma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Já na Área 2 a quantidade de C.O. encontrou-se maximizada no Ponto 3 e em menor quantidade nos Pontos 1 e 2 (Tabela 7). A ausência de cobertura vegetal nos Pontos 1 e 2 apresenta-se como principal motivo para a minimização de C.O. nessas amostras.

Tabela 7. Avaliação de Médias¹ dos Teores de Carbono Orgânico (em %) na Área 2, dos três pontos coletados e três extratos de profundidades.

Tratamentos	00-20cm	20-40cm	40-60cm	Médias
Ponto 1	1,18 bA	1,58 abA	1,45 aA	1,40 b
Ponto 2	1,33 bA	1,34 bA	1,42 aA	1,36 b
Ponto 3	2,01 aA	1,88 aA	1,27 aB	1,72 a
Médias	1,51 A	1,60 A	1,38 A	

Nota: ¹ Médias com pelo menos uma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

No que se refere ao EstC para a Área 1, é possível observar maior capacidade de absorção de C nas amostras do Ponto 3 (Tabela 8). A densidade aparente do solo apresenta no Ponto 3 (Tabela 2) é fator de maior importância para maximização do EstC nesse ponto, já que o índice de C.O. entre os Pontos 2 e 3 são bastante próximos.

Tabela 8. Avaliação de Médias¹ dos Estoques de Carbono (em t*ha⁻¹*ano⁻¹) na Área 1, dos três pontos coletados e três extratos de profundidades.

Tratamentos	00-20cm	20-40cm	40-60cm
Ponto 1	0,14 b	0,25 c	0,54 b
Ponto 2	0,19 b	0,36 b	0,62 a
Ponto 3	0,30 a	0,63 a	0,69 a
Médias	0,21	0,41	0,62

Nota: ¹ Médias com pelo menos uma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Situação análoga pode ser percebida na Área 2. Apesar de maior concentração de C.O. nas amostras do Ponto 3 (Tabela 7), o maior EstC foi o apresentado pelas amostras do Ponto 2 (Tabela 9), sendo fator determinante para tal a maior densidade aparente do solo no Ponto 2 (Tabela 3).

Tabela 9. Avaliação de Médias¹ dos Estoques de Carbono (em t*ha⁻¹*ano⁻¹) na Área 2, dos três pontos coletados e três extratos de profundidades.

Tratamentos	00-20cm	20-40cm	40-60cm
Ponto 1	0,17 a	0,37 a	0,65 a
Ponto 2	0,16 a	0,40 a	0,72 a
Ponto 3	0,27 a	0,45 a	0,50 b
Médias	0,20	0,40	0,62

Nota: ¹ Médias com pelo menos uma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

No Gráfico 1 foi plotado em perspectiva espacial um contínuum referente ao EstC (eixo Z) nos três pontos de amostragem (eixo X) da Área 1 para as três profundidades adotadas (eixo Y). É possível observar a homogeneidade de EstC superficialmente no perfil do solo (00-20cm), adotando heterogeneidade subsuperficialmente, a partir da profundidade 20-40cm, tornando-se bastante heterogênea na profundidade 40-60cm, sendo o Ponto 3 com EstC mais representativo.

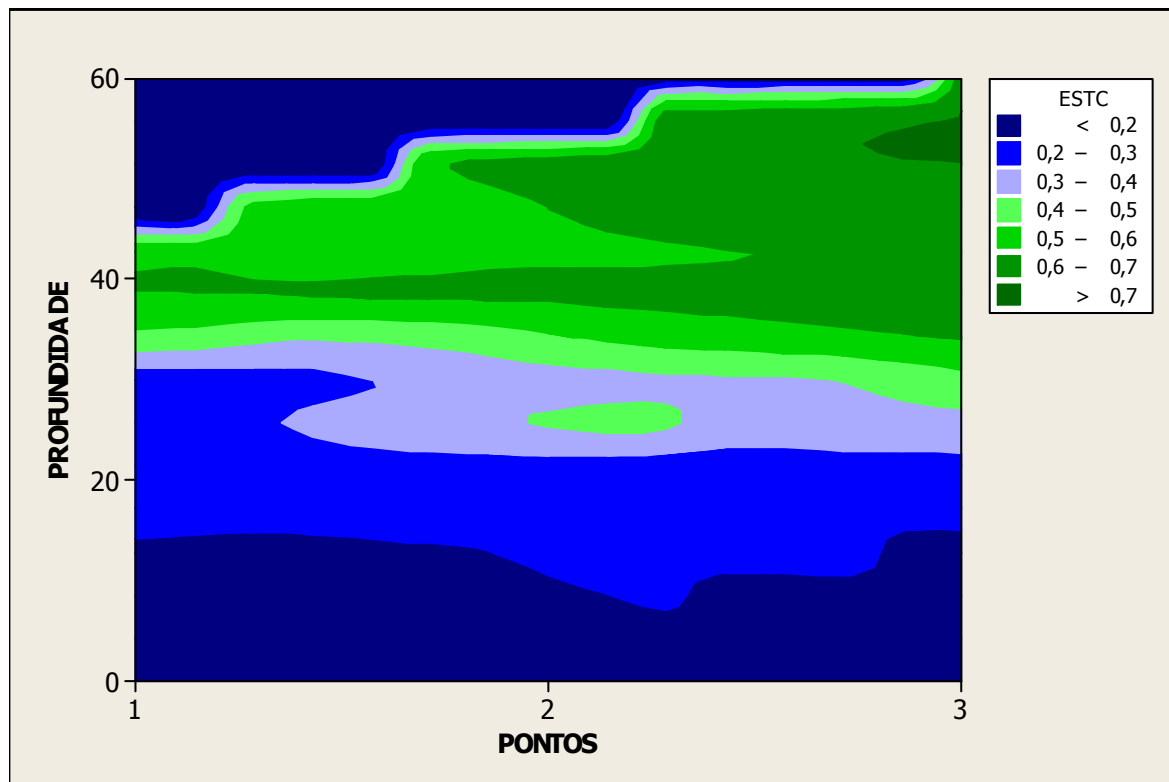


Gráfico 1: Distribuição espacial do Carbono Total Estocado (EstC em $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), em relação aos pontos de coleta e profundidades na Área 1. Fonte: MINITAB Statistical software (2010); elaborado pelo autor.

Para a Área 2 tem-se uma plotagem análoga (Gráfico 2), observando-se o EstC homogêneo superficial e em subsuperfície (00-40cm). Há heterogeneidade, ao menos aparente, somente entre as profundidades 40-60cm, com uma amplitude entre os pontos de até $0,6 t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$. Deve-se ressaltar a densidade aparente nos pontos considerados dessa área, justificando a diferente capacidade de estocagem de carbono.

Nesse caso, nos Pontos 1 e 2, foram obtidos resultados mais expressivos de EstC para o perfil de solo em profundidade superior à 40cm, que nas camadas mais superficiais. Pode-se inferir que há uma certa estabilidade do carbono estocado e pouca mobilidade ou ciclagem desse elemento, condicionado por atividade radicular, o que poderia tornar os teores encontrados em superfície mais elevados.

A pouca exploração em subprofundidade na Área 2 deve-se principalmente ao tipo de vegetação instalada no local e por consequência, um agravamento da compactação ao longo do perfil do solo. Em função da restrição de raízes mais superficiais e atividade intempérica (chuva, ventos e insolação) nessa área, pode haver alguma melhoria da aeração desse solo, nas primeiras camadas.

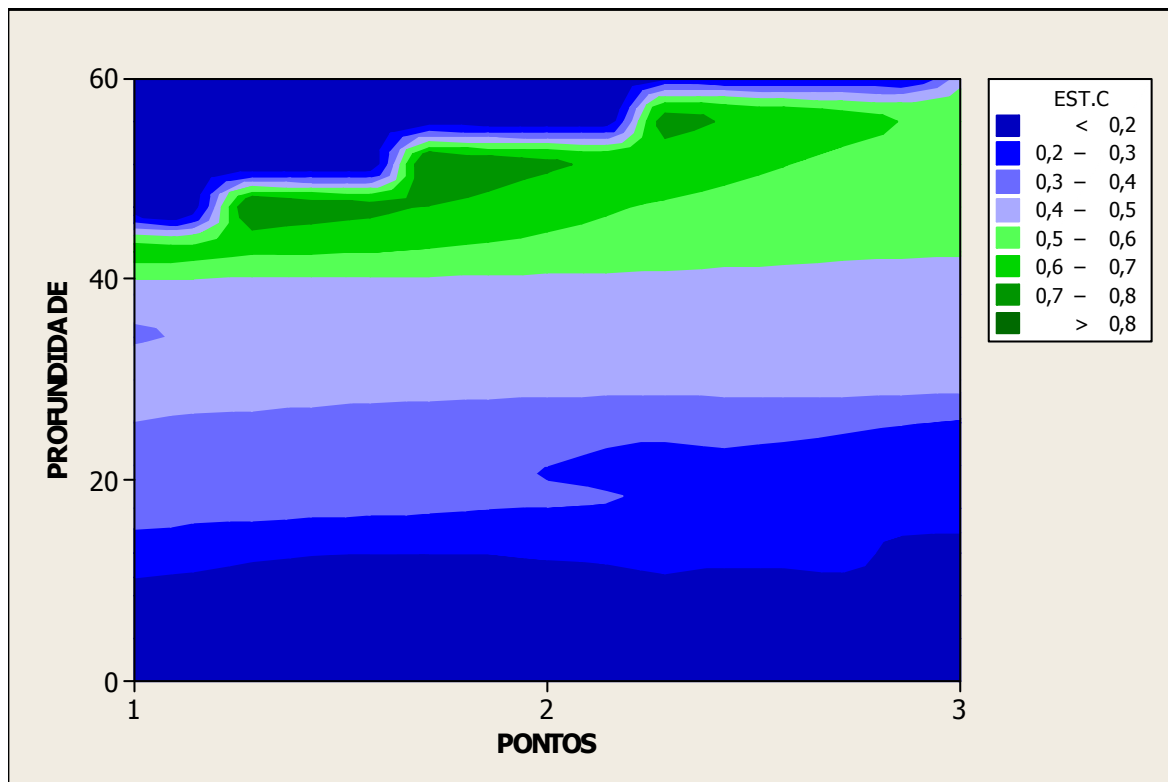


Gráfico 2: Distribuição espacial do Carbono Total Estocado (EstC em $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$), em relação aos pontos de coleta e profundidades na Área 2. Fonte: MINITAB Statistical software (2010), elaborado pelo autor.

De acordo com as informações descritas e levando-se em consideração a proposta do presente trabalho, serão avaliados cenários para maximização do EstC obtido pela aplicação metodológica para a área de estudo.

Diante dos resultados obtidos e discutidos, pretende-se construir dois cenários possíveis quanto à capacidade de estocagem de C nos solos estudados, especialmente com intuito de quantificar o potencial dessas áreas, em situações planejadas e específicas, de se mitigar o carbono em áreas urbanas.

Como Cenário 1 ter-se-á comparação do EstC obtido (Tabelas 8 e 9) visando diferenciar dentre os aspectos de cada área os que sejam possíveis fatores de melhoria para maximização da absorção de C e minimização da perda de solo na área de estudo. Essa comparação será potencializada à área total (10 ha) para obtenção do potencial de estocagem de toda a área e calculado VEA.

Para o Cenário 2 deve-se destacar como ponto principal a obtenção de melhores resultados na busca do sequestro de C pelo solo como MDL para a área de estudo, potencializando a conservação e manejo das Áreas 1 e 2 para que os parâmetros de M.O., C.O. e EstC sejam equiparáveis aos encontrados para a amostra de solo mais conservado entre as duas áreas.

Nesse sentido, a maximização do EstC apresentado originalmente pela área estudada demonstra-se alternativa lógica para incremento do VEA calculado, sendo esse procedimento instrumento de viés econômico para sustentação da constante adoção de melhores práticas de manejo e conservação. Do mesmo modo, entende-se como de suma importância, avaliar práticas buscando mitigação de perda de solo apresentada pelas Áreas 1 e 2, sendo a Área 1 de alta relevância nesse quesito.

Um projeto de recuperação para a mata ciliar do Parque Linear do Rio Uberabinha demonstra-se fator primordial para minimização da erosão no leito do rio e potencialização do sequestro de C na área urbana de Uberlândia – MG. A contenção do solo por meio da incorporação de resíduos inertes ou inservíveis apresenta-se como alternativa viável por

empregar a reutilização de materiais em técnicas de baixo custo para mitigação da perda de solo. A adoção de geotêxteis para contenção do solo em áreas de declividade expressiva consorciada à recuperação da vegetação nativa é técnica madura e eficiente, datando do século VXII os primeiros trabalhos com essa prática na Europa. Há inclusive trabalhos científicos onde a aplicação de biotêxteis é proposta para a análise de sua eficiência buscando os mesmos fins de conservação do solo atribuídos aos geotêxteis. A aplicação de técnicas como as supracitadas no Parque Linear do Rio Uberabinha auxiliaria duplamente, seja na mitigação da perda de solo, seja na potencialização do C.O. sequestrado.

Analisando os dados da Tabela 10 e comparando seus resultados aos das Tabelas 8 e 9 é possível verificar que o EstC encontrado para cada uma das profundidades estudadas, adotando esse cenário, situa-se entre os limites de 41,67% a 43,06% acima dos valores obtidos originalmente. Esse aumento é significativo antes mesmo de serem tratadas novas ações de conservação e manejo, apenas sendo proposta homogeneização das práticas já adotadas na área de estudo, baseadas principalmente no enriquecimento vegetal por meio de espécies nativas.

Seguindo mesma proposta dada ao Cenário 1 para o Cenário 2, na Tabela 10 o EstC foi potencializado para área total e mensurado VEA.

Tabela 10. Cenários para Estoque de Carbono (em t*ha⁻¹*ano⁻¹) considerando as duas áreas de estudo para os a profundidade total de 60cm e o Valor Econômico Aparente (VEA).

Cenário	Descrição	40-60cm
1	Diferença de EstC	0,01
	Potencial de Estocagem de C	0,10
	Valor Econômico Aparente (VEA) ¹	R\$ 0,99 ~ R\$ 4,91
2	Ponto ótimo de EstC	1,08
	Potencial de Estocagem de C	10,80
	Valor Econômico Aparente (VEA) ¹	R\$ 107,99 ~ R\$ 530,13

¹ Admitindo-se o preço mínimo e máximo (em €/tCO₂) alcançado por leilões entre 2007 e 2012 (BM&FBOVESPA S.A., 2014) e a cotação do Euro no final de maio de 2014.

Levando-se em consideração os resultados obtidos e a discussão proposta neste trabalho, o viés econômico por meio da creditação de carbono demonstra-se como uma alternativa viável para adoção de práticas conservacionista nas quais o manejo de áreas verdes urbanas seja empregado como MDL no que tange a mitigação dos GEE.

Obviamente, tais medidas podem ser compreendidas como novos paradigmas, razoáveis ao serem considerados pelas autoridades municipais, dado a complexidade do debate acerca desse mercado, regras e políticas específicas e o desdobramento de estratégias que viabilizem a implantação de projetos com esse escopo.

Portanto, medidas pautadas no Desenvolvimento Sustentável, em que estratégias voltadas à parcerias público-privadas, programas de educação ambiental e incentivos à participação popular ativa tornem-se perspectivas de ação, são fatores significativos para sucesso das alternativas propostas neste trabalho, pois auxiliariam na consolidação de políticas ambientais eficientes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do perfil de perda de solo para a área verde urbana adotada para estudo demonstrou-se imprescindível para avaliação do nível de conservação do solo presente nessa área, sendo o levantamento de técnicas para sua mitigação determinante ao sucesso do manejo proposto.

Avaliando-se os índices de M.O., C.O. e EstC para a área de estudo foi possível complementar as análises, dando insumos à projeção de cenários onde a comparação entre as áreas de amostragem e adoção de um ponto ótimo enriqueceram as perspectivas de avaliação de sua conservação e manejo.

Por fim, o viés econômico necessário ao subsídio das técnicas de manejo para melhoria na conservação da área demonstrou-se possível através da mensuração do EstC e VEA, sendo também propostos mecanismos onde os pilares do Desenvolvimento Sustentável fossem empregados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IPCC. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 996 p.
2. BAYER, Cimélio; COSTA, Falberni de S.; MIELNICZUK, João; ZANATTA, Josiléia Acordi. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 32, n. 1, jan/fev 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000100030&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 28 abr. 2014.
3. ROSA, Roberto; ROSENDO, Jussara dos S. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. *Sociedade e Natureza*, Uberlândia, vol. 24, n. 2, mai/ago 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-45132012000200014&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 25 abr. 2014.
4. CRISTOFOLETTI, Antônio (2012). Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: _____. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Org. Antônio J. T. Guerra e Sandra B. Cunha. 9. ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p. 415-440.
5. GONÇALVES, Luiz F. H.; GUERRA, Antônio J. T. (2006). Movimentos de Massa na Cidade de Petrópolis (Rio de Janeiro). In: _____. *Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*. Org. Antônio J. T. Guerra e Sandra B. Cunha. 4. ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro. cap. 5, p. 189-252.
6. CORRECHEL, Vladia; KLIEMANN, Huberto J.; OLIVEIRA, Carloeme A. de; SANTOS, Felipe C. V. dos. Avaliação da retenção de sedimentos pela vegetação ripária pela caracterização morfológica e físico-química do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, vol. 14, n. 12, dez 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662010001200005&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 09 abr. 2014.
7. SANTOS, Diléia S. dos; SPAROVEK, Gerd. Retenção de sedimentos removidos de área de lavoura pela mata ciliar, em Goiatuba (GO). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, vol. 35, n. 5, set/out 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000500035&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 14 abr. 2014.
8. FERREIRA, Eloisa A. B.; GOMES, Antônio C.; RAMOS, Maria L. G.; RESCK, Dimas V. S. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, vol. 31, n. 6, nov/dez 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000600038&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 14 abr. 2014.
9. UBERLÂNDIA. Parque Linear do Rio Uberabinha. Disponível em: <<http://www.uberlandia.mg.gov.br/?pagina=secretariasOrgaos&s=51&pg=145>>. Acesso em: 04 mar. 2014.
10. Ferreira, D. F. Programa computacional SISVAR – UFLA, versão 5.3, 2010.
11. MINITAB Statistical software VERSION 16 FOR WINDOWS. (2010) Inc. Minitab. Duxbury Press.
12. DIAS, Jailson C.; LIMA, Waterloo N. de. Comparação de Métodos para a determinação de Matéria Orgânica em Amostras Ambientais. Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, vol. 4, abril 2004, p. 9.
13. SATO, Juliana H. Métodos para Determinação do Carbono Orgânico em Solos do Cerrado. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2013, p. 23. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/13795/1/2013_%20JulianaHiromiSato.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2014.
14. PAIVA, Joao Batista Dias de; PAIVA, Eloiza Maria Cauduro Dias de. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 2001. 628 p.
15. BM&FBOVESPA S.A. Leilões de Crédito de Carbono. Disponível em: <<http://www.bmfbovespa.com.br/Consulta-Leiloes/leiloes-de-credito-de-carbono-login.aspx?idioma=pt-br>>. Acesso em: 23 mai. 2014.