

INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS SOBRE O TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO MOEDA, TRÊS LAGOAS/MS

Influence of Geoenvironmental Characteristics about the Suspended Sediment Transport in the Hydrographic Basin of Stream Moeda, Três Lagoas/MS

Rafael Brugnolli Medeiros*
André Luiz Pinto**

***Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS**
Graduado em Geografia e Bolsista CAPES pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia
Rua Santa Luzia, nº 905 – Santa Terezinha – Campus Três Lagoas, Mato Grosso do Sul, Brasil – CEP: 79630-310
rafael_bmedeiros@hotmail.com

**** Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS**
Doutor em Geociências e Professor Adjunto IV
Av. Ranulpho Marques Leal, nº 46 – Distrito Industrial – Campus Três Lagoas, Mato Grosso do Sul, Brasil – CEP 74055-110
andre.pinto@ufms.br

RESUMO

Os sistemas ambientais possuem diversos componentes decorrentes das interações dos elementos naturais, mantendo relações mútuas entre si. Dessa forma, o presente artigo trata das características geoambientais da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda, Três Lagoas/MS, buscando analisar a influência desses elementos sobre o transporte de sedimentos em suspensão ao longo de onze pontos de coletas de água, durante as estações de 2012 (verão, outono, inverno e primavera). Foram levantados dados através de softwares como Spring 5.0.6 e ArcGis 10 e informações disponibilizadas pela Fibria-MS Celulose Ltda. Através dos resultados encontrados, percebe-se uma alteração no transporte de sedimentos com diferenças no uso e ocupação, pois locais ocupados por pastagens tendem a um maior escoamento superficial, assim como a geologia, que interfere de forma significativa nos pontos 7, 9 e 10, que estão sobrepostos nos Depósitos Aluvionares Holocênicos. Concluindo, os parâmetros observados interferem de forma significativa no transporte de sedimentos em suspensão por razão do uso e ocupação da terra, declividade, relevo, geologia e precipitação.

Palavras-chave: Características Geoambientais. Transporte de Sedimentos em Suspensão. Bacia Hidrográfica. Geoprocessamento.

ABSTRACT

The environmental systems also couple diverse components deriving from interactions of the natural elements, while maintaining mutual relations between them. That way, this article treat of geoenvironmental characteristics the Hydrographic Basin of Stream Moeda, Três Lagoas/MS, seeking analyze the influence of these elements on the transport of suspended sediment along the eleven points of water collected during the 2012 stations (summer, autumn, winter and spring). Were raised data through software such as Spring 5.0.6 and ArcGIS 10 and information made available by Fibria-MS Celulose Ltda. From the results founds, one senses a alteration in sediment transport with differences in the use and occupation, because local occupied by pastures, tend to a higher surface runoff, thus as geology, that interferes significantly in the points 7, 9 and 10, which are superimposed on the Holocene Alluvial Deposits. Concluding, the observed parameters significantly interfere on the transport of suspended sediment, either by reason of the use and occupation of land, slope, relief, geology and rainfall.

Keywords: Geoenvironmental characteristics. Sediment Transport in Suspension. Hydrographic Basin. Geoprocessing.

1 INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda (BHCM), localizada no município sul-matogrossense de Três Lagoas, possui 75% de sua área de propriedade da Fibria-MS Celulose Ltda., sendo que 56% dessa área é ocupada por florestas de eucalipto clonadas, para a produção de celulose e papel. Um importante agravante aos seus recursos hídricos é a instalação do Distrito Industrial de Moeda, criado pela Lei Municipal 2.427, de 2 de março de 2010, com a principal finalidade de ser polo industrial para grandes indústrias, como é o caso da Fibria-MS Celulose Ltda, e a fábrica de fertilizantes e agroquímicos da Petrobras, a UFN III (Unidade de Fertilizantes Nitrogenados Três Lagoas).

As bacias hidrográficas são reconhecidas como objetos de estudo quando se trata de temas ambientais pelo principal motivo de agregar, em um mesmo conjunto, dados sobre os elementos físicos, sociais e biogeográficos, constituindo, assim, em variáveis importantes na busca pela compreensão da dinâmica do ambiente natural como um todo.

Christofoletti (1980) ainda salienta que o sistema de uma bacia hidrográfica é afetado pela ação antrópica, degradando, assim, o ambiente em função das suas necessidades sociais e econômicas, deixando a conservação do sistema em “segundo plano”.

Dessa forma, a caracterização geoambiental dessa bacia hidrográfica e os impactos ocasionados pela ação antrópica são essenciais para analisar as potencialidades e fragilidades desse ambiente, permitindo o uso e ocupação dessas terras de maneira sustentável.

A caracterização geoambiental da BCHM partiu do conceito da abordagem sistêmica, ponderando o sistema como uma junção de diversos elementos que possuem relações entre si e que possuem propriedades comuns, sendo que o estado de cada unidade depende das demais unidades. Dessa forma, os sistemas não atuam de forma isolada, mas funcionam dentro de um ambiente que fazem parte de um conjunto maior (BRASIL, 2001).

Segundo Ross (1994) realizar esse estudo integrado dos elementos componentes do estrato geográfico, que dão suporte à vida animal e ao homem geram um produto analítico-sintético, que retrata a real situação da área de estudo. Portanto, o uso e ocupação da terra, erosão, declividade, escoamento superficial e, principalmente, as ações antrópicas, entre outros, estão diretamente relacionados às transformações ocorridas no ambiente como um todo, incluindo sua degradação, podendo variar em grau de intensidade de acordo com a função que um determinado ambiente assume, decorrente da apropriação dos seus recursos naturais.

Em locais onde ocorre grande ação antrópica, a quantidade e qualidade das águas são geralmente afetadas. Neste contexto Tonello et al. (2006) afirma que todas as mudanças ocorridas em uma bacia hidrográfica possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e o escoamento superficial e sub-superficial.

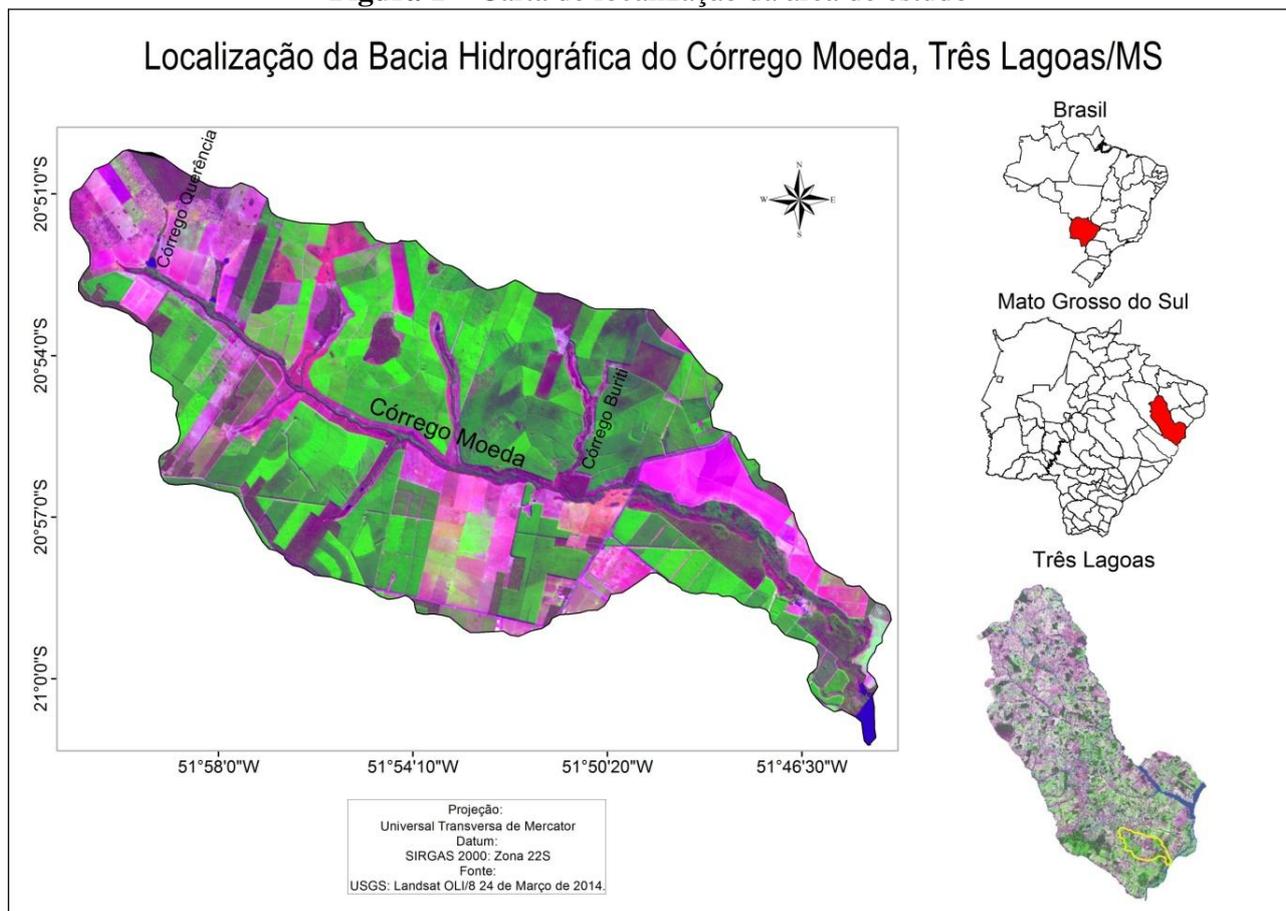
Dessa maneira, sua autodepuração pode chegar ao estágio de exaustão que, certamente, diminuirá a oferta desse recurso em volume e qualidade para a satisfação das necessidades humanas.

O presente artigo tem como objetivo principal elaborar essa caracterização geoambiental, apresentando alguns parâmetros como geologia, uso e ocupação da terra, declividade, precipitação, hipsometria, perfis topográficos e desníveis médios do relevo, para avaliar a influência destas unidades sobre o transporte de sedimentos em suspensão na BCHM, ao longo de onze pontos de coletas de água no córrego principal (Moeda), e nos dois principais afluentes (Querência e Buriti), buscando subsidiar ações e/ou novos estudos que contribuam para o ordenamento da BCHM, pois o seu uso atualmente não vem sendo adequado, fazendo com que ocasione a redução da quantidade e qualidade das águas, limitando cada vez mais a disponibilidade dos recursos hídricos.

A BCHM tem uma área de 248,79 Km². Encontra-se entre as coordenadas geográficas de 20°50'00'' e 21°01'10'' de latitude S e 52°01'08'' e 51°44'55'' de longitude W como mostrada na

Figura 1. Localiza-se a sul da sede do município de Três Lagoas, a 26 km, através da MS-395, em sentido a cidade de Brasilândia.

Figura 1 – Carta de localização da área de estudo



2 MATERIAL E MÉTODOS

Visando à análise geoambiental da área de estudo e à influência destes fatores sobre o transporte de sedimentos em suspensão, utilizou-se de algumas metodologias descritas nos parágrafos posteriores.

A caracterização geológica da BHCM foi elaborada através do *software* ArcGis 10, gerando, assim, a carta geológica do estado do Mato Grosso do Sul na escala de 1:750.000, dados técnicos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Porém, devido à escala ser relativamente grande para a área de abrangência da BHCM, foi utilizado uma adaptação de acordo com o Estudo de Impacto Ambiental elaborado pela FIBRIA-MS Celulose Ltda.

O mapa de solos da área de estudo foi elaborado com o auxílio do ArcGis 10, utilizando os dados técnicos da Embrapa (1999), sendo nomeadas as classes de acordo com a nova nomenclatura da (EMBRAPA 2006). Com relação à elaboração da carta de declividade foi necessário, primeiramente, a importação de imagens SRTM da Embrapa, sendo utilizada a imagem SF-22-V-B no programa ArcGis 10.

Para a análise da hipsometria, inicialmente, utilizou-se a imagem SRTM para gerar as curvas de nível com equidistância de 20 em 20 metros; em seguida, para gerar a hipsometria, foi necessária a utilização de um MDT (Modelo Digital de Terreno), que foi gerado por triangulação irregular da grade (TIN), na ferramenta *Tin Management > Create Tin*, localizado no *3D Analyst tools* do ArcGis® 10.

Para a realização do perfil longitudinal utilizou-se o programa Global Mapper[®] 13, imagem SRTM, para, por fim, finalizar os perfis topográficos no AutoCad 2012, sendo feito o caminho natural do rio principal, da sua nascente até à foz, gerando, automaticamente o perfil, utilizando as mesmas fontes para a elaboração dos perfis transversais, sendo traçado perfis próximos ao alto curso, no médio curso e próximos a foz no baixo curso.

Para a elaboração da carta de uso e ocupação da terra foi necessária informações sobre a área em 2012, através da Fibria-MS Celulose Ltda., para, posteriormente, serem analisadas, através de imagens de satélite, os locais exatos de determinadas ocupações e digitalizadas, através do AutoCad 2012. Sendo assim, foram separadas as classes em: Áreas Diversas (construções, como a fábrica da Fibria-MS Celulose Ltda., casas e estradas), Hidrografia, Plantio Comercial de Eucalipto, Pastagem, Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente.

Os dados de precipitação foram obtidos junto à estação meteorológica da Fibria-MS Celulose Ltda., localizada nas coordenadas 20° 58' 42" S 51° 46' 30" W em seu viveiro de mudas. A análise das precipitações é através da relação entre a ocorrida em 2012 e as normais climatológicas, sendo a maneira simples de comparar as variações climáticas mensais.

Para a execução da mensuração da competência de transporte fluvial em suspensão foram utilizados os seguintes *softwares* e equipamentos: Word 2000 e Excel 2007. Em campo utilizou-se frascos plásticos de 500 ml, câmeras digitais fotográficas e o Sistema de Posicionamento Global – GPS. Em laboratório foi utilizada a Estufa de Secagem, Conjunto de infiltração, Bomba à Vácuo, Balança de Precisão e Membrana Filtrante.

As coletas das amostras de água foram efetuadas nas estações de 2012 (verão, outono, inverno e primavera). Os locais da coleta foram enumerados do ponto 1 até o ponto 11, e foram escolhidos previamente, segundo critérios como: açudes, captação de água pela Fibria-MS Celulose Sul Mato-Grossense Ltda., confluência com outros córregos, foz de afluente e na foz do próprio Córrego Moeda, sendo elas enumeradas ao entorno da bacia hidrográfica (Tabela 1).

Tabela 1 – Estações de monitoramento na BHCM, Três Lagoas/MS

Estações Coleta	Coordenadas Geográficas	Localização na Bacia	Ponto de Referência
1	20° 52' 139" S 51° 59' 577" W	Alto curso do Córrego Moeda, açude construído no canal fluvial seco, na Faz. Querência.	
2	20° 52' 435" S 51° 59' 325" W	Alto curso do C. Moeda, a montante da foz do C. Querência, na Faz. Querência, margem esquerda e direita Horto São Luis, Fibria MS Celulose Ltda.	
3	20° 52' 266" S 51° 59' 211" W	Foz do C. Querência no C. Moeda, na Faz. Querência, Marge esquerda e direita Horto São Luis, Fibria MS Celulose Ltda.	
4	20° 52' 271" S 51° 59' 211" W	Alto curso do C. Moeda, a jusante da foz do C. Querência Faz. Querência, margem esquerda e direita Horto São Luis, Fibria MS Celulose Ltda.	
5	20° 53' 509" S 51° 57' 637" W	Médio curso do C. Moeda, a jusante da ponte, Hortos Granada – margem esquerda e Santa Paula – margem direita, Fibria MS Celulose Ltda.	

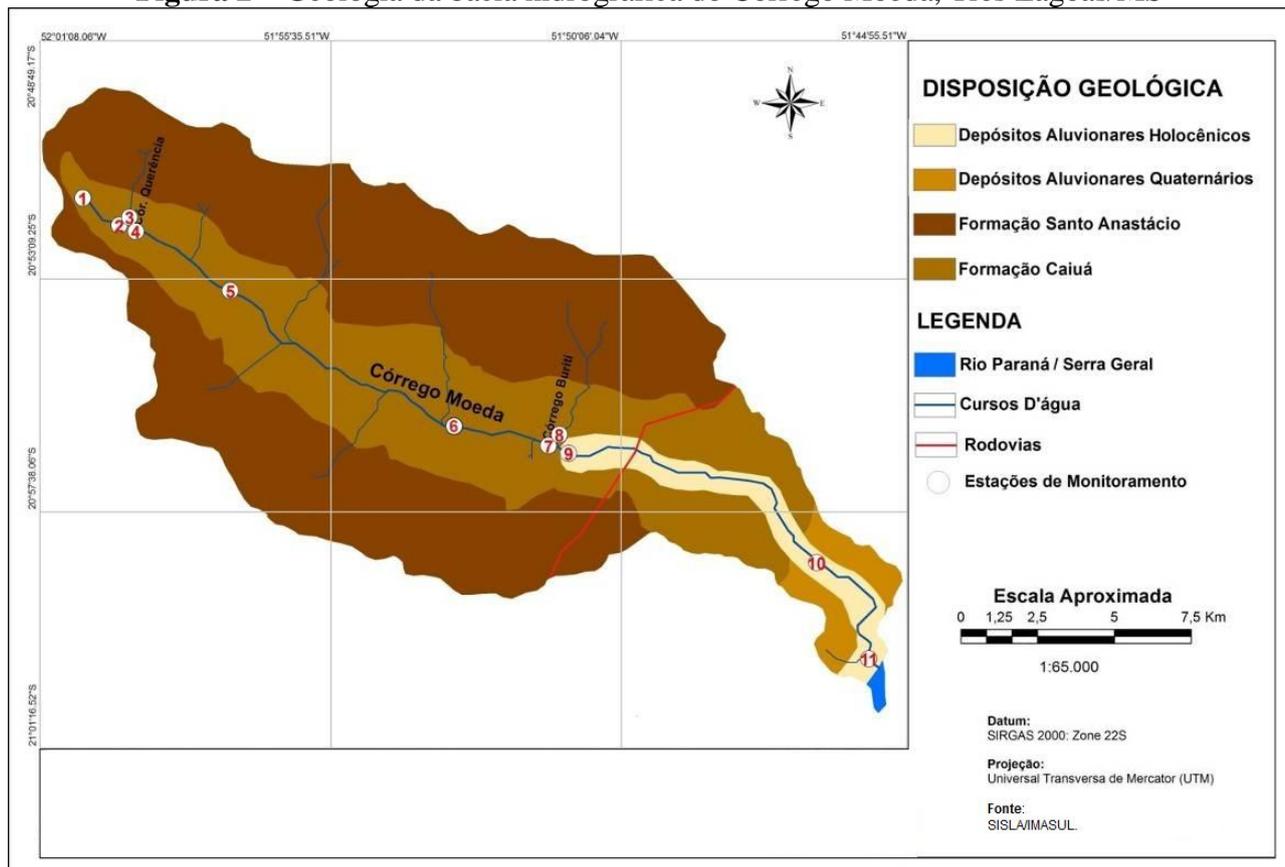
6	20° 55' 780'' S 51° 53' 270'' W	Médio curso do C. Moeda, clareira aberta para coleta d'água para molha do eucalipto e incêndio. Horto Buriti, Fibria MS Celulose Ltda.	
7	20° 56' 481'' S 51° 51' 430'' W	Médio curso do C. Moeda, à montante da foz do C. Buriti, nos Hortos Buriti, na margem esquerda e direita Esperança III, Fibria MS Celulose Ltda.	
8	20° 56' 148'' S 51° 50' 996'' W	Foz do C. Biriti no Médio do C. Moeda, no Horto Buriti, Fibria MS Celulose Ltda.	
9	20° 56' 522'' S 51° 51' 287'' W	Médio do Córrego Moeda, á jusante da foz do Córrego Buriti, nos Hortos Buriti, na margem esquerda e direita Esperança III, Fibria MS Celulose Ltda.	
10	20° 58' 525'' S 51° 46' 242'' W	Baixo Curso do Córrego Moeda, Clareira aberta para ponte e coleta d'água para molha do eucalipto e incêndio. Hortos Dobirão e Barra do Moeda, Fibria MS Celulose Ltda.	
11	21° 00' 0945'' S 51° 45' 3140'' W	Baixo curso do Córrego Moeda, a montante com o Paraná, reserva, Horto Dobirão e Barra do Moeda, Fibria MS Celulose Ltda.	

Fonte: Elaborada pelo autor

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O relevo brasileiro vem sendo intensamente desgastado por agentes externos como chuva, rios, temperaturas, erosão intensa. O relevo brasileiro é constituído basicamente de maciços ou escudos cristalinos e as bacias sedimentares.

A BHCM se assenta sobre terrenos do grupo Bauru, que engloba as formações Santo Anastácio e Caiuá, que são constituídas por arenitos compostos por sedimentos com maior contribuição de areia fina a silte grosso (SALLUN et al., 2010), sobrepondo-se a estes depósitos aluvionares, que são caracterizados por sedimentos relativamente pouco conhecidos e genericamente agrupados como coluviais e aluviais. Porém, esses depósitos sedimentares são correlativos de importantes fases da evolução geológica cenozóica, que marcou profundamente a paisagem atual, denominados por Sallun et al. (2010) de aloformação Paranaíba e, sobre estes, pacote de sedimentos recentes holocênicos, da aloformação Alto Paraná. A Figura 2 e Tabela 2 apresentam os diferentes tipos de formações e aloformações geológicas e suas áreas de abrangência na BHCM.

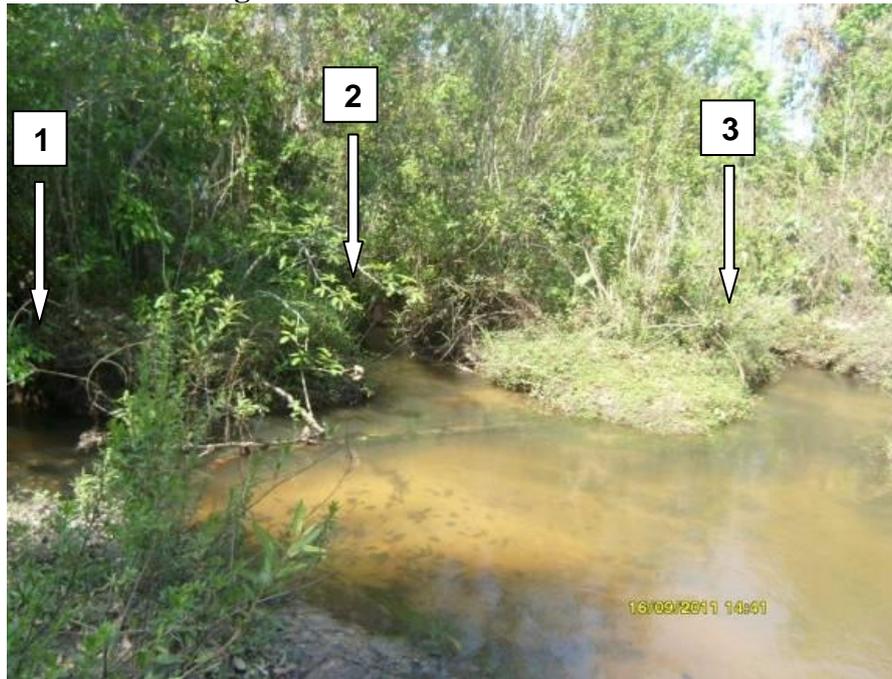
Figura 2 – Geologia da bacia hidrográfica do Córrego Moeda, Três Lagoas/MS**Tabela 2** – Disposição geológica da bacia hidrográfica do Córrego Moeda

Disposição Geológica	Área (km ²)	Área (%)
Depósitos Aluvionares Holocênicos; depósitos de cascalho e sedimentos inconsolidados próximos ao curso d'água.	14,24	5,72
Depósitos Aluvionares Quaternários; depósitos de cascalho, em maior quantidade, areia, argila, silte e sedimentos inconsolidados.	6,80	2,74
Formação Santo Anastácio; constituída por arenitos finos a médios por vezes com cimentação carbonática que forma nódulos e concreções, onde abrigam Latossolos Vermelhos.	142,66	57,34
<i>Formação Caiuá, predominantemente fina, de sedimentos com maior contribuição de areia a silte grosso onde abrigam Latossolos Vermelhos.</i>	85,09	34,20

Fonte: Sallun et al., 2010

A Aloformação Paranavaí (Depósitos Aluvionares Quaternários, Formação Santo Anastácio e Formação Caiuá), ocupa, na bacia, uma área de 234,55 km², que equivale a 94,28% de toda a área da bacia, sendo encontrado desde a nascente até no ponto 7 de coleta de água, Figura 3, onde ocorre uma ruptura no relevo, mudando a geologia e a geomorfologia deste ponto em diante.

O curso d'água se ramifica em 3 canais, ocorrendo a elevação de seu leito, a redução da vazão, o menor desnível, a redução da dissecação, o aumento da deposição de sedimentos recentes e o aumento da sinuosidade do canal, até sua foz, no rio Paraná.

Figura 3 – Ponto de Monitoramento 7

Fonte: Elaborada pelo Autor

No ponto 10 se pode notar um aumento na quantidade de sedimentos que foram transportados dos depósitos aluvionares quaternários, que são mais antigos para locais onde ocorre o afloramento dos depósitos aluvionares holocênicos. Esse cascalho se torna evidente, Figura 4, caracterizados por areias finas, às vezes com vegetação aquática nas áreas onde as matas ciliares foram mais preservadas, e concentram, além de cascalho, areia e argila pelotizadas e arredondadas, e reduzida concentração de siltes.

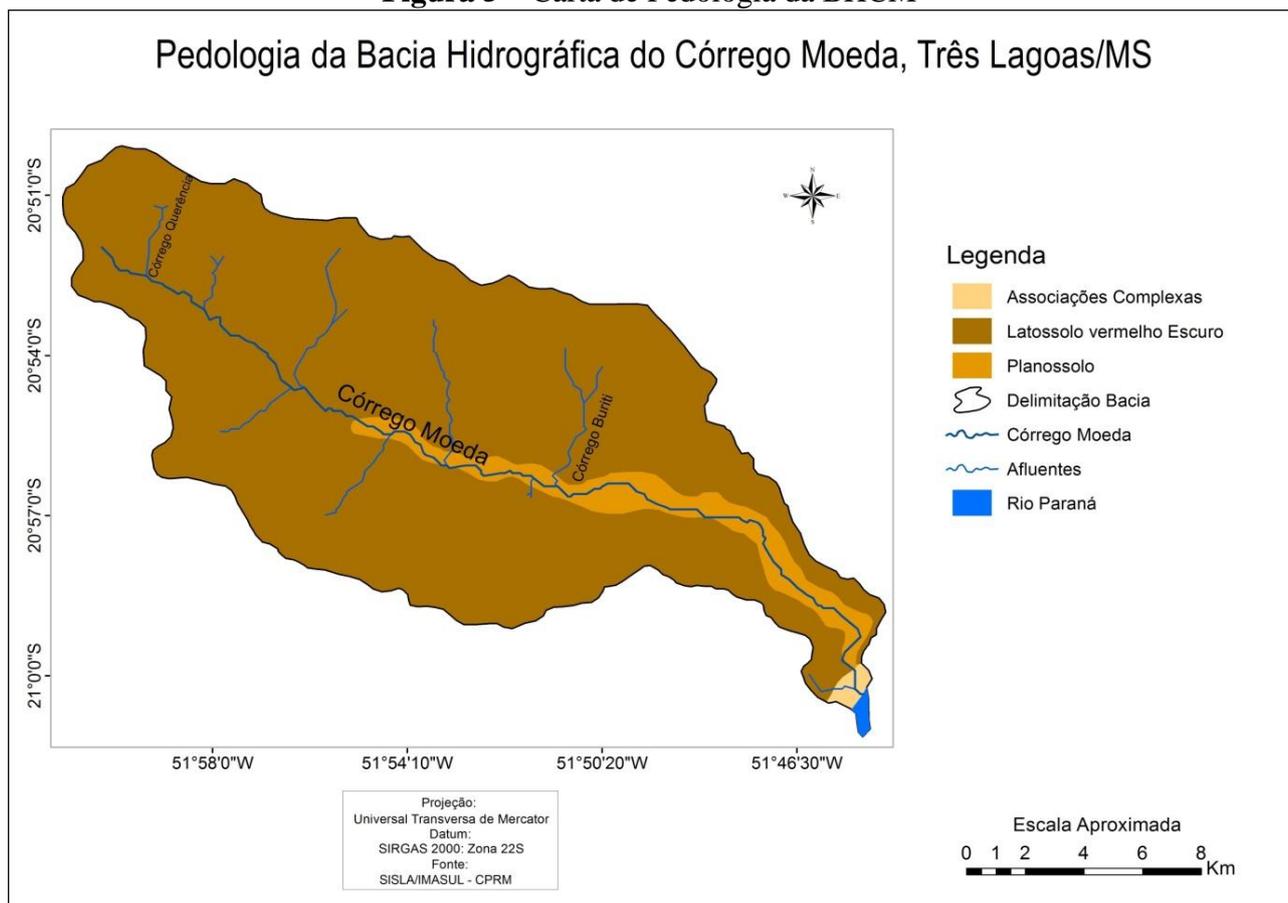
Figura 4 – Afloramento de Cascalho se torna Evidente no Ponto 10

Fonte: Elaborada pelo Autor

Portanto, a geologia proporciona influência direta sobre o transporte de sedimentos em suspensão, principalmente de acordo com cada disposição geológica, ou seja, quanto mais areia, cascalho e sedimentos inconsolidados apresentar na área, maior será a suscetibilidade ao carreamento de sedimentos.

O mesmo ocorre à pedologia, pois um solo mais arenoso (como o Planossolo e, principalmente, as Associações Complexas, devido a um maior escoamento superficial, elevadas precipitações), acarretará sedimentos até as áreas de menor altitude da bacia hidrográfica, ou seja, os cursos d'água. Na Figura 5 e Tabela 3 são apresentados todos os solos encontrados na BHCM.

Figura 5 – Carta de Pedologia da BHCM



Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 3 – Disposição da Pedologia da bacia hidrográfica do Córrego Moeda

Pedologia	Área (km ²)	Área (%)
Associação Complexa	1,84	0,74
Latossolo Vermelho Escuro	230,16	92,51
Planossolo	16,79	6,75

Fonte: Elaborada pelo autor

Na BHCM foram encontrados três solos, sendo que o predominante é o Latossolo Vermelho Escuro, com 230,16 km². São solos constituídos de material mineral, sendo solos em

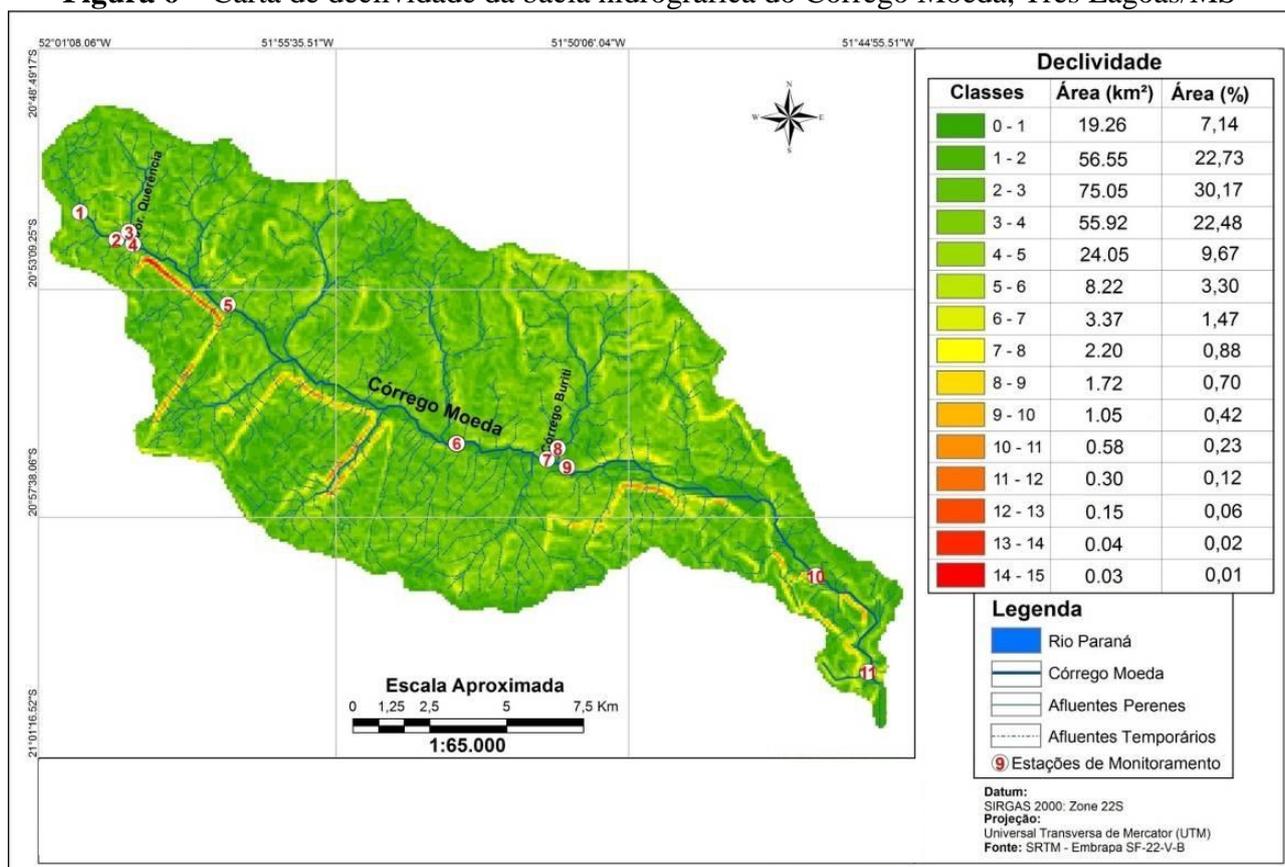
avançado estágio de intemperização, bem evoluídos, normalmente profundos e variam de fortemente a bem drenados, sendo encontrados, geralmente, em regiões planas ou suaves onduladas. (EMBRAPA, 2006).

A Associação Complexa abrangeu apenas 1,84 km². Esta é uma unidade composta por vários tipos de solos, onde não é possível identificar qual deles é o dominante, sendo difícil a separação mesmo em estudo em escalas maiores. No caso da bacia do Rio Taquaruçu, foi identificado o AC2: Planossolo + Gleissolos + Neossolos + Organossolos, ocorrendo em área marginal ao Rio Paraná (MATO GROSSO DO SUL, 2011). Os Planossolos presentes na bacia abrangem uma área de 16,79 km². São solos típicos de relevo plano e áreas rebaixadas, são solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial aluvial de textura mais leve (EMBRAPA, 2006).

Outro fator que surge como um dos principais, para que se possa analisar a influência de todas essas características sobre o transporte de sedimentos, é a declividade da bacia, uma vez que a mesma exerce influência direta sobre a quantidade de perda de solo por erosão, pois, quanto maior sua gradiente, maior a intensidade de escoamento das águas sob o efeito da gravidade, sendo menor o seu tempo disponível para a infiltração no solo (OLIVEIRA et al., 2007).

A carta de declividade, Figura 6 e Tabela 4, foi elaborada a partir da metodologia de Lepsch (2002), identificando quatro classes de declividade, 0-3%, 3-6%, 6-12% e 12-20%, porém, a maior declividade encontrada foi de 14,65%.

Figura 6 – Carta de declividade da bacia hidrográfica do Córrego Moeda, Três Lagoas/MS



Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 4 – Classes de declividade e facilidade na ocupação rural na BHCM

Classes de Declive	Classificação	Área (km ²)	Área (%)	Facilidades na Ocupação Rural
0,0 a 3,0	Muito Suave	150,86	60,64	Apto a qualquer uso agrícola
3,0 a 6,0	Suave	88,19	35,45	Depende da subclasse, pois será preciso ações de controle erosivo ou de melhoria na fertilidade do solo.
6,0 a 12,0	Suave Ondulado	9,52	3,82	Restrita a agricultura, mas apta para agricultura moderna desde que use técnicas de manejo e conservação do solo. Permite pastoreio, reflorestamento e a manutenção da vegetação natural.
12,0 a 20,0	Ondulado	0,22	0,09	Não permite uso agrícola, somente manutenção da vegetação original.
TOTAL		248,79	100,00	

Fonte: Adaptada de Lepsch (1983) e as Facilidades na Ocupação Rural, de Ramalho Filho e Beek (1995)

A classe de declive de 0,0 a 3,0% é classificada como muito suave, abrangendo uma área de 150,86 km², ou seja, 60,64%, apta a qualquer uso agrícola, segundo Ramalho Filho e Beek (1995), tabela 3. O possível alagamento das planícies de inundação limita alguns usos agrícolas, devido ao excedente hídrico que pode perdurar por alguns meses.

A classe de 3,0 a 6,0 é classificada como suave, ocupando uma área de 88,19 km², ou seja, 35,45% da área total da bacia. Para Ramalho Filho e Beek (1995), dependendo da subclasse, além das ações de controle erosivo, geralmente se faz necessária a melhoria na fertilidade do solo.

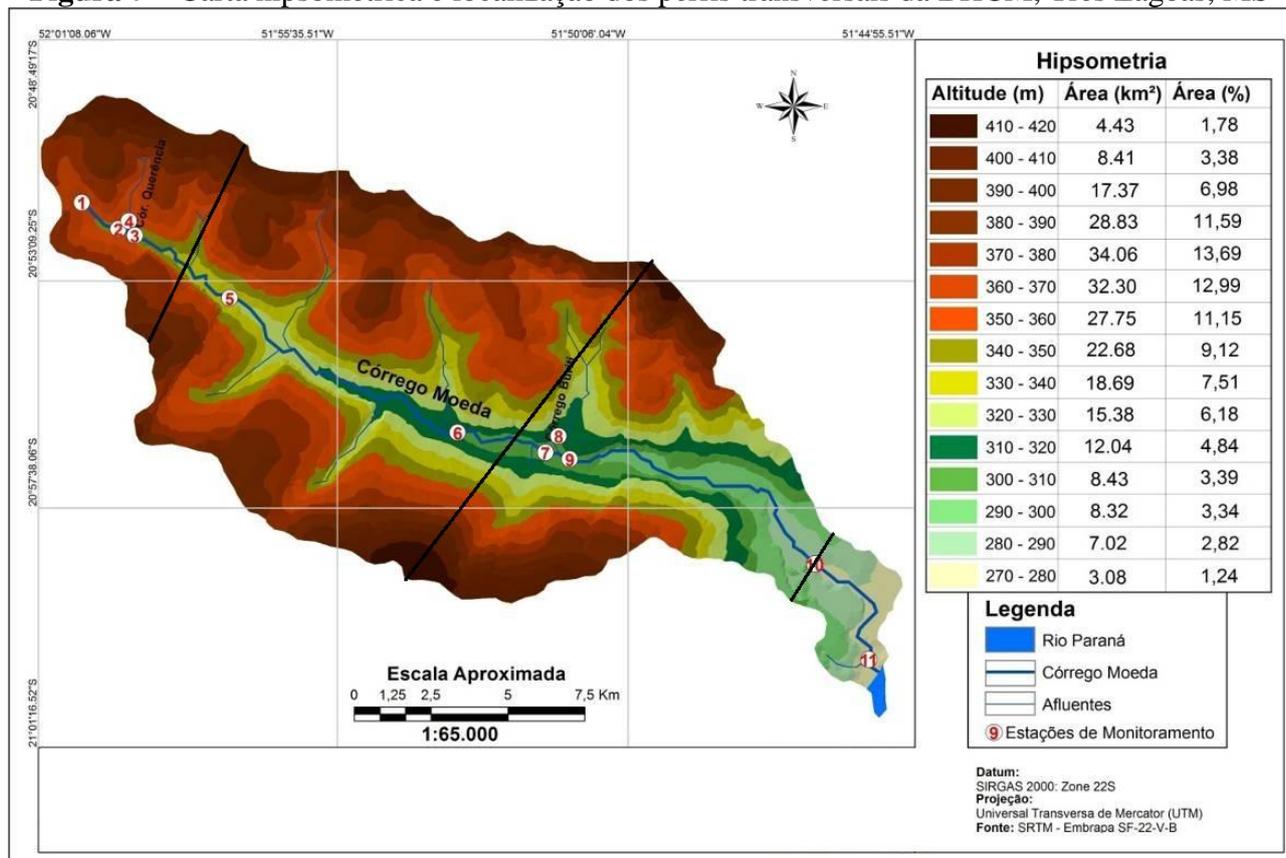
A classe de 6,0 a 12,0 é qualificada como sendo suave ondulado e ocupa uma área total de 9,52 km², ou seja, 3,82%, onde Ramalho Filho e Beek (1995) consideram que em tal classe, a agricultura convencional, deva ser restrita, sendo mais apta a agricultura moderna, desde que utilize técnicas de manejo e conservação do solo. Permite ainda o pastoreio, o reflorestamento e a manutenção da vegetação natural.

A classe de 12,0 a 20,0 é classificada como sendo ondulado, ocupando apenas 0,22 km², ou seja, 0,09% da área total. Segundo classificação de Ramalho Filho e Beek (1995), não se permite uso agrícola, somente a manutenção da vegetação original.

Juntamente com a carta de declividade e os demais parâmetros apresentados, a carta hipsométrica e os perfis longitudinal e transversais, constitui-se em uma informação onde a elevação da BHCM é dividida, permitindo a quantificação absoluta e relativa da área ocupada por determinado intervalo de altitude, tornando-se uma importante variável da análise geoambiental, pois quanto o maior desnível da área, maior será o seu escoamento, sendo que se deve destacar a interação destes elementos com a precipitação, que acaba alterando de forma direta o transporte de sedimentos em suspensão, assim como os demais elementos.

Esta carta foi gerada pelas curvas de nível (Figura 7). Para a compreensão das inclinações, desníveis e altitudes, foram elaborados alguns perfis topográficos, como: transversal do alto, médio e baixo curso, assim como o perfil longitudinal.

As classes hipsométricas foram divididas com equidistância de 10 em 10 metros para uma análise mais detalhada do relevo, porém, para facilitar a visualização dos dados, foram agrupados em classes de 30 em 30 metros (Tabela 5), mostrando que a maior área da bacia esta situada na classe de 360 a 390 metros de altitude, ocupando 38,27% da área total.

Figura 7 – Carta hipsométrica e localização dos perfis transversais da BHCM, Três Lagoas, MS

Fonte: Elaborada pelo autor

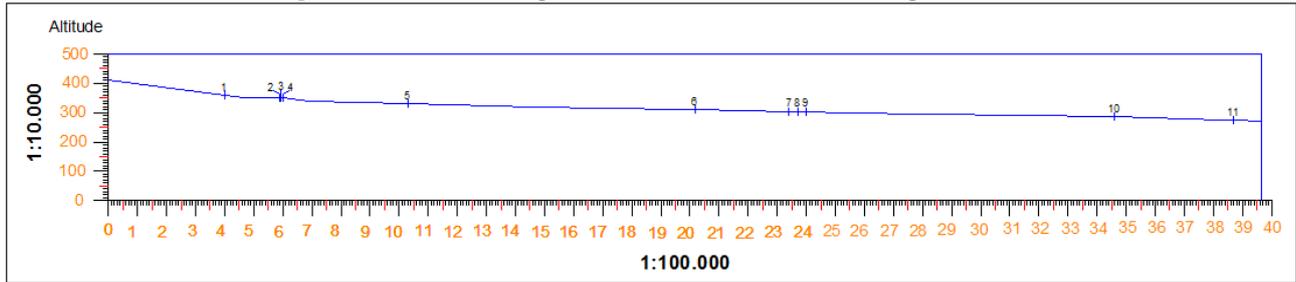
Tabela 5 – Classes Hipsométricas e respectiva Área em (km²) e (%) na BHCM

Classes Altimétricas	Área (km ²)	Área (%)
270 a 300	18,42	7,40
300 a 330	35,85	14,41
330 a 360	69,12	27,78
360 a 390	95,19	38,27
390 a 420	30,21	12,14
TOTAL	248,79	100

Fonte: Elaborado pelo autor

A BHCM apresenta a cota altimétrica de 420 metros como a mais elevada e de 276 metros, com um desnível total de 144 metros, com um desnível médio de 1,72 m/km². O canal principal da bacia possui 35,65 km de comprimento; sua nascente posiciona-se a 360 m e sua foz no Rio Paraná, a cerca de 270 m, representando um desnível médio de 2,52 m/km na Figura 8.

Com relação aos desníveis médios da nascente, que representa o ponto 1 como na figura 8 até o ponto 2, é apresentada uma distância entre eles de 1,9 km, e um desnível médio de 5,26 m/km. O ponto 2 até o 4 são próximos e obteve uma distância de 5 metros entre eles. O ponto 2 e 4 no próprio córrego Moeda e o ponto 4 no córrego Querência. Como ficam a 350 m de altitude, não se obteve desnível médio. Seguindo em direção a foz, do ponto 4 até o ponto 5 obteve um distância de 4,36 km, e um desnível médio de 4,59 m/km entre esses pontos.

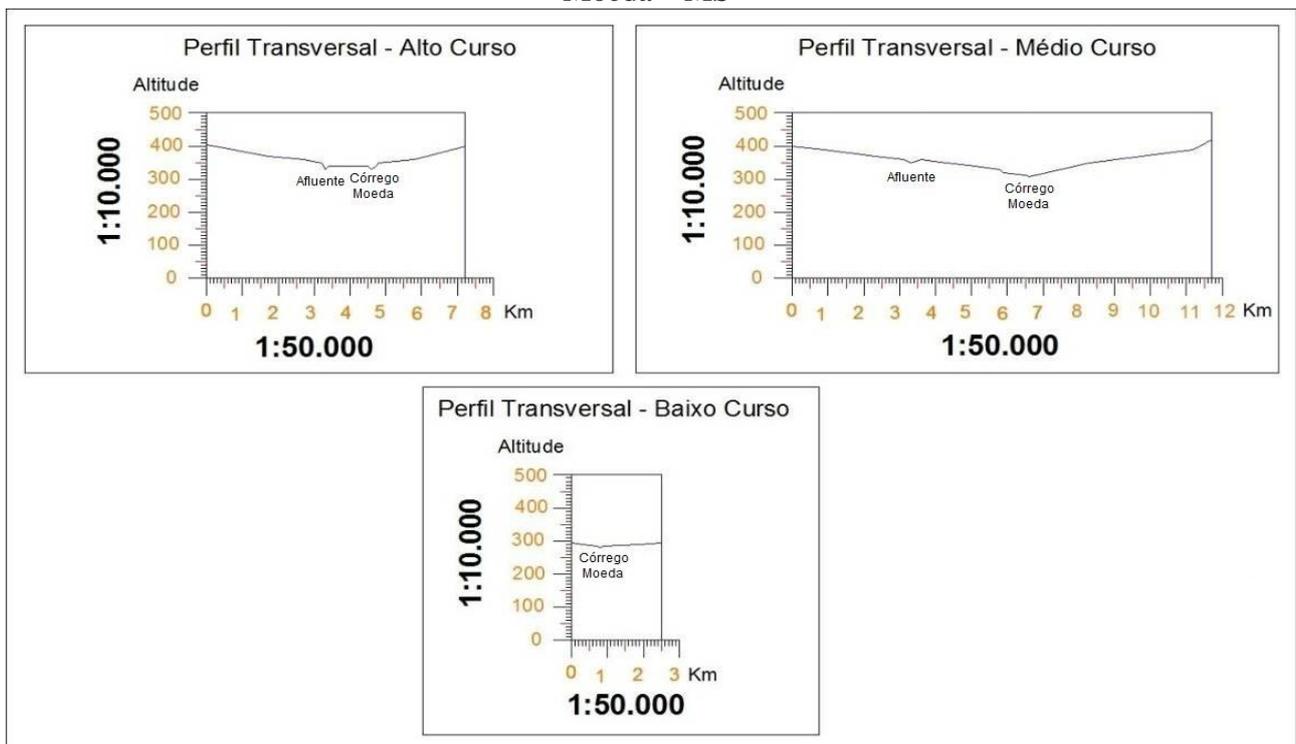
Figura 8 – Perfil longitudinal da BHCM, Três Lagoas, MS

Fonte: SRTM, EMBRAPA (2000)

Após o ponto 5 segue por 8,84 km até chegar no ponto 6, que corresponde a um desnível médio de 2,25 m/km e se localizam na altitude de 330 m e 310 m respectivamente. O ponto 6 e o ponto 7 se distanciam em 3,2 km e um desnível médio de apenas 1,56 m/km, já que se localizam com distância de apenas 5 metros de altitude, ou seja, 310 m no ponto 6 e 305 m nos pontos 7, 8 e 9 aproximadamente. Do ponto 7 ao ponto 8 há 35 metros de distância, e do ponto 8 ao 9 se obtém 25 metros de distância entre eles. Como se localizam aproximadamente na mesma altitude, não se obteve desnível médio.

Já do ponto 9 ao 10 começa a ser apresentada uma característica de área mais plana, pois se aproxima da foz do córrego Moeda, obtendo uma distância entre eles de 10,60 km, localizando na altitude de 305 m e 280 m respectivamente e um desnível médio de apenas 2,35 m/km. Com relação ao ponto 10 e o 11, sendo este o último ponto de coleta, obteve-se uma distância de 4,1 km e um desnível médio de apenas 1,21 m/km a uma altitude de 275 m próximo da foz do Córrego Moeda, no Rio Paraná.

Para se obter um melhor entendimento da dinâmica das inclinações e desníveis no alto, médio e baixo curso foram elaborados três perfis transversais, A – B, C – D e E – F, conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Perfis transversais do Alto, Médio e Baixo curso da bacia hidrográfica do Córrego Moeda – MS

Fonte: SRTM, EMBRAPA (2000)

No alto curso da bacia (A-B), é apresentado um desnível médio de 16,23 m/km na margem esquerda, com uma altitude de 405 m no divisor de água e 330 m no córrego Moeda. Na margem direita se obtêm uma altitude de 400m do limite da bacia até o córrego, com um desnível médio de 27,34 m/km. O perfil transversal do alto curso apresentou um comprimento linear de 7,18 km.

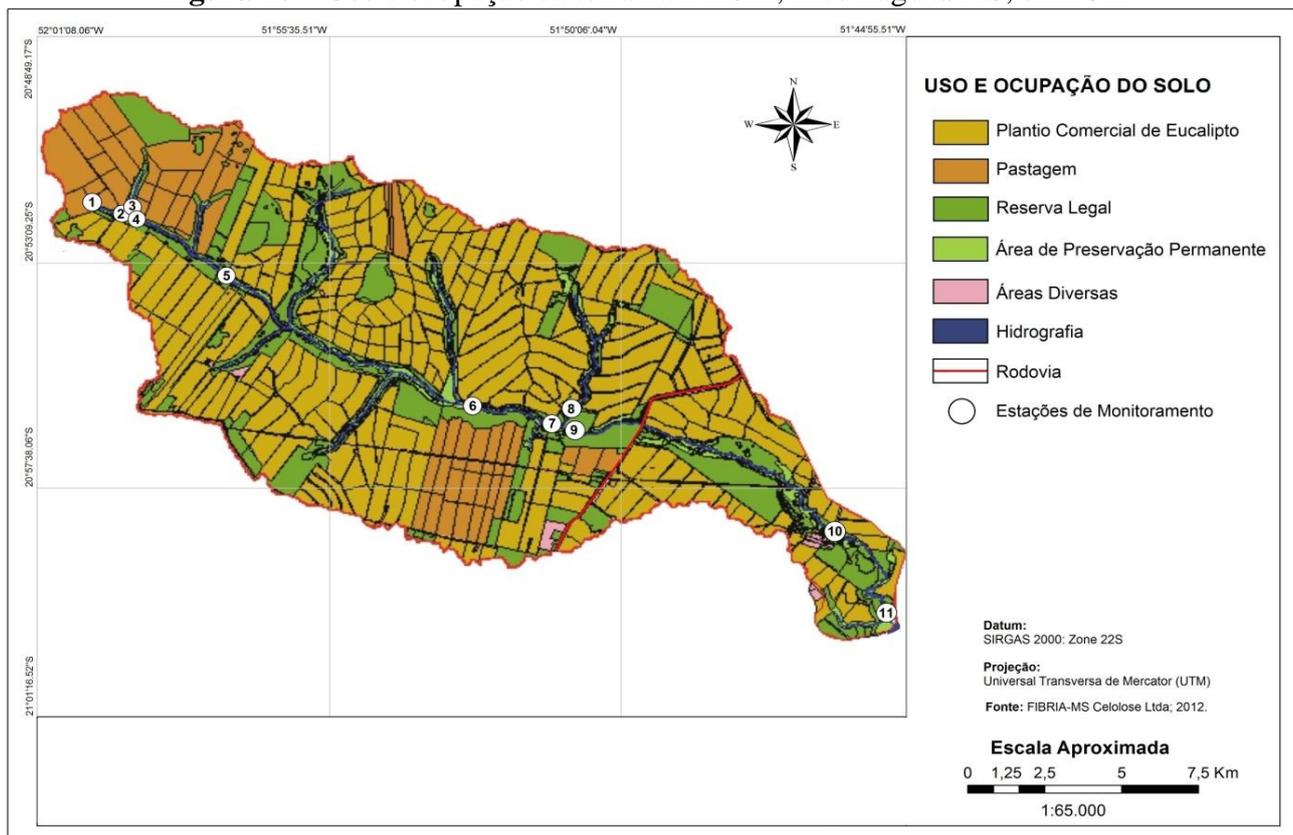
No médio curso na bacia (C-D), é apresentado um comprimento linear de 7,18 km, que proporciona um desnível médio de 13,71 m/km na margem esquerda, com uma altitude de 400 m no limite da bacia e 310 m no córrego Moeda. Na margem direita o limite da bacia se localiza a 420 m de altitude seguindo até o córrego, e apresenta um desnível médio de 21,36 m/km.

No baixo curso da bacia (E-F), é apresentado um desnível médio de 18,75 m/km na margem esquerda, com uma altitude de 295m no divisor de água e 280 m no córrego Moeda. Na margem direita se obtêm uma altitude de 295 m no limite da bacia e apresenta um desnível médio de 8,82 m/km. O perfil transversal do baixo curso apresentou um comprimento linear de 2,5 km.

Paralelamente a todas estas unidades citadas é necessário destacar outro parâmetro, objetivando um diagnóstico geoambiental e sua influência no transporte de sedimentos. Esta variável se relaciona ao uso e ocupação da terra (Figura 10).

Esta unidade é de extrema importância. Tanto é que Tucci e Clarke (1997) afirmam que para minimizar qualquer tipo de impacto devido ao declive, relevo e precipitação de determinado local, a cobertura vegetal possui um papel prático na absorção dos excessos hídricos, sejam eles de origem superficial ou por meio das precipitações.

Figura 10 – Uso e ocupação da terra na BHCM, Três Lagoas/MS, em 2012



Fonte: Elaborada pelo autor

As plantações de eucalipto correspondem a 14.934,10 ha, totalizando 55,64%, a pecuária extensiva de corte e pastagens ocupam 19%, e as APPs e reservas legais 22%; o restante são áreas diversas. Fazendas destinadas à pecuária extensiva de corte recobrem 19% da área da bacia, com exceção da fazenda Querência em seu alto curso. As demais não se utilizam de curvas de nível e de práticas regulares de descompactação dos pastos e rodízio de campos.

As matas ciliares se encontram, em sua grande maioria, em estágio de regeneração, com exceção de manchas dispersas, sobre tudo, no alto curso, na margem esquerda na fazenda Querência, no médio curso próximo a foz do córrego Buriti e no baixo curso, na área da Fibria-MS Celulose Ltda., da ponte da BR 262 até a sua foz, no rio Paraná (Figura 10).

Segundo os dados meteorológicos da Fibria-MS Celulose Ltda., na BHCM as médias anuais entre 1983 e 2012, e seu desvio em relação ao ano de 2012, mostram que apenas no outono ocorreu desvio positivo e que em 2012 obtiveram precipitações inferiores a média das normais em - 119,75 mm.

Nota-se que, em apenas 4 meses do ano de 2012, ocorreu um acréscimo na quantidade de precipitação em relação a normal, tendo como o principal, o mês de Junho, onde choveu 200,56 mm a mais do que a normal, sendo um ano atípico, pois esse mês não é obtido grandes precipitações, ficando a normal em torno de 18,9 mm. Outro fator a ser considerado é a grande redução das precipitações no verão, onde todos os meses ocorreram redução, acarretando em 215,91 mm a menos que a normal dessa estação.

No outono, devido principalmente a esse mês de junho ocorreu um aumento no desvio totalizando 191,1 mm a mais que a normal. Já no inverno ocorreu uma pequena diminuição, no ano de 2012, em relação à normal, com o mês de agosto apresentando 0,0 mm de precipitação, um mês de seca que ocasionou nessa redução de 4,81 mm em relação a normal. Na primavera, como quase o ano inteiro, ocorreu uma redução das precipitações, com apenas dezembro obtendo um aumento, entretanto a estação obteve um desvio de 93,73 mm a menos que a normal. Portanto, percebe-se que a maioria dos meses obteve índices mais baixos de precipitação que a normal, fazendo com que em 2012 ocorra um desvio de 119,75 mm a menos do que a precipitação média anual.

Após apresentado todas as variáveis que influenciam nos recursos hídricos, percebe-se que, para uma análise da unidade de paisagem natural, é necessário que se conheça sua gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, bem como a natureza da cobertura vegetal que sobre ela se desenvolve. Estas informações serão fornecidas pela Geologia, Uso e Ocupação da Terra, Declividade, Hipsometria, entre outras, e precisam ser integradas para que se tenha um retrato fiel do comportamento de cada unidade frente à sua ocupação (CREPANI et al., 1996).

Por este motivo é de extrema importância a análise de todas as características da bacia, a fim de elaborar um estudo mais detalhado e mais rico em informações, com base nas mensurações de transporte de sedimentos fluviais em suspensão, durante as estações analisadas, nas onze estações de coleta (Tabelas 6, 7, 8, 9 e Figura 11).

Tabela 6 – Transporte de sedimentos fluviais em suspensão do verão de 2012, na BHCM, Três Lagoas/MS

Pontos	Competência Fluvial			
	g/100 ml	g/m ³	g/m ³ /s	Ton/Estação
1	0,0180	180,0000	0,00000	0,00000
2	0,0005	5,0000	0,09517	0,74004
3	0,0021	21,0000	0,38981	3,03118
4	0,0009	9,0000	0,34375	2,67297
5	0,0003	3,0000	0,71928	5,59312
6	0,0001	1,0000	0,36182	2,81348
7	0,0009	9,0000	12,51619	97,32591
8	0,0016	16,0000	0,37435	2,91096
9	0,0001	1,0000	0,90504	7,03759
10	0,0002	2,0000	3,35773	26,10972
11	0,0002	2,0000	0,00000	0,00000
TOTAL	0,0249	249,0000	19,06314	148,23498

Fonte: Elaborada pelo autor

No verão, o ponto 7 obteve a maior quantidade de transporte de sedimentos em suspensão, alcançando 97,32591 ton/estação. Este elevado número em relação às outras estações tem como explicação a localização deste ponto, pois é um local de ruptura no relevo, onde ocorre um acúmulo muito grande de sedimentos no leito e, conseqüentemente, eleva a quantidade de sedimentos em suspensão.

Já no ponto 10, onde ocorreu a segunda maior quantidade, é uma área onde existe pouca mata ciliar e, conseqüentemente, ocorre o aumento na quantidade de sedimentos em suspensão. Nos outros pontos ocorreu uma baixa quantidade de sedimentos, não se obtendo grande diferença entre eles.

Tabela 7 – Transporte de sedimentos fluviais em suspensão do outono de 2012, na BHCM, Três Lagoas/MS

Competência Fluvial					
Pontos	g/100 ml	g/m ³	g/m ³ /s	Ton/Estação	Desvio (ton/estação)
1	0,0019	19,0000	--	--	--
2	0,0010	10,0000	0,06140	0,47745	-0,26259
3	0,0006	6,0000	0,07695	0,59836	-2,43282
4	0,0007	7,0000	0,17481	1,35933	-1,31364
5	0,0004	4,0000	1,26540	9,83975	4,24663
6	0,0001	1,0000	0,41400	3,21927	0,40579
7	0,0001	1,0000	1,55115	12,06176	-85,26415
8	0,0011	11,0000	0,56153	4,36644	1,45548
9	0,0002	2,0000	1,81008	14,07518	7,03759
10	0,0005	5,0000	9,93132	77,22594	51,11622
11	0,0005	5,0000	--	--	--
TOTAL	0,0071	71,0000	15,84664	123,22349	-25,01149

Fonte: Elaborada pelo autor

No outono, o ponto 10 obteve o maior transporte de sedimentos em suspensão, com 77,22594 ton/estação, sendo um elevado número em relação às outras estações, sendo que o ponto 9 e ponto 7 obtiveram a segunda e terceira maior quantidade, respectivamente, com 14,07518 ton/estação no ponto 9 e 12,06176 ton/estação no ponto 7.

Tabela 8 – Transporte de sedimentos fluviais em suspensão do inverno de 2012, na BHCM, Três Lagoas/MS

Competência Fluvial					
Pontos	g/100 ml	g/m ³	g/m ³ /s	Ton/Estação	Desvio (ton/estação)
1	0,0072	720,0000	--	--	--
2	0,0008	8,0000	0,10800	0,83981	0,36236
3	0,0006	6,0000	0,05616	0,43670	-0,16166
4	0,0010	10,0000	0,09890	0,76905	-0,59028
5	0,0008	8,0000	0,13200	1,02643	-8,81332
6	0,0008	8,0000	0,48608	3,77976	0,56049
7	0,0009	9,0000	2,48706	19,33938	7,27762
8	0,0010	10,0000	0,00000	0,00000	-4,36644
9	0,0014	14,0000	1,76988	13,76259	-0,31259
10	0,0004	4,0000	0,52448	4,07836	-73,14758
11	0,0007	7,0000	--	--	--
TOTAL	0,0804	145,0000	5,66256	44,03207	-79,19142

Fonte: Elaborada pelo Autor

O ponto 2, tanto no verão quanto no outono, qualificou como a menor quantidade de sedimentos em suspensão dos pontos de amostras de água. Percebe-se que, devido à ligeira queda nas precipitações, ocorreu um desvio em alguns pontos em relação ao verão.

Nesta estação se percebe uma redução dos sedimentos transportados, sendo a maior o ponto 7, que obteve 19,33938 ton/estação, seguido do ponto 9 com 13,76259 ton/estação.

Durante o Inverno, observa-se o ponto 7, localizado a montante da foz do córrego Buriti, como sendo o de maior competência de transporte em suspensão entre todos os pontos monitorados, remontando em 53,45% do total transportado ao longo da bacia devido à existência, na margem direita do canal, de antigo bebedouro para gado e seu uso ser predominante de pastagens sem curvas de nível. Percebe-se, ainda, que o grau do transporte de sedimentos em relação às outras estações é muito baixo, devido a pouca precipitação na área durante esse período. Por essa estação ser mais seca, obteve uma queda na quantidade de sedimentos transportados na maioria dos pontos, sendo que o ponto 10 apresentou a maior queda entre todos os pontos. O ponto 9 e ponto 7 obtiveram a segunda e terceira maior quantidade, respectivamente, com 14,07518 ton/estação no ponto 9 e 12,06176 ton/estação no ponto 7.

Tabela 9 – Transporte de sedimentos fluviais em suspensão da primavera de 2012, na BHCM, Três Lagoas/MS

Competência Fluvial					
Pontos	g/100 ml	g/m ³	g/m ³ /s	Ton/Estação	Desvio (ton/estação)
1	0,0141	140,9000	0,00000	0,00000	--
2	0,0007	6,6000	0,02185	0,16987	-0,66994
3	0,0009	8,9000	0,18610	1,44711	1,01041
4	0,0011	11,0000	0,20977	1,63117	0,86212
5	0,0012	12,3000	1,54980	12,05124	11,02481
6	0,0014	13,9000	1,18484	9,21328	5,43352
7	0,0015	15,2000	10,97318	85,32748	65,98810
8	0,0000	0,0000	0,00000	0,00000	0,00000
9	0,0015	14,7000	16,93469	131,68418	117,92159
10	0,0015	15,3000	15,91154	123,72814	119,64978
11	0,0016	15,7000	0,00000	0,00000	--
TOTAL	0,0255	254,5000	46,97177	365,25248	321,22041

Fonte: Elaborada pelo autor

Já, na primavera, pode-se perceber o aumento significativo da vazão e do transporte fluvial, devido, principalmente, à desagregação e ressecamento do solo, à vegetação seca e semi desfolhada do cerrado ocorrida durante o inverno que, aliado ao aumento das precipitações durante esse período, acaba carregando os sedimentos soltos para o canal fluvial. Nesta estação, o ponto 9, localizada à jusante do Córrego Buriti, registrou o maior transporte de sedimentos em suspensão, com 131,68418 ton/estação. Também, devido ao bebedouro de gado e ao uso para a pecuária sem curvas de nível e por receber vazão de águas freáticas do Córrego Buriti, pois sua foz é marcada por “brejo”, solo hidromórfico que, mesmo com mata ciliar preservada, promove a turbidez da água por decomposição da matéria orgânica.

Como é possível notar, com o aumento das precipitações ocorridas nesta estação, a bacia obteve um aumento na quantidade de sedimentos transportados em relação à estação anterior, onde apenas no ponto 2 ocorreu uma queda, nos outros pontos, principalmente nos pontos 7, 9 e 10, apresentou uma elevação considerável.

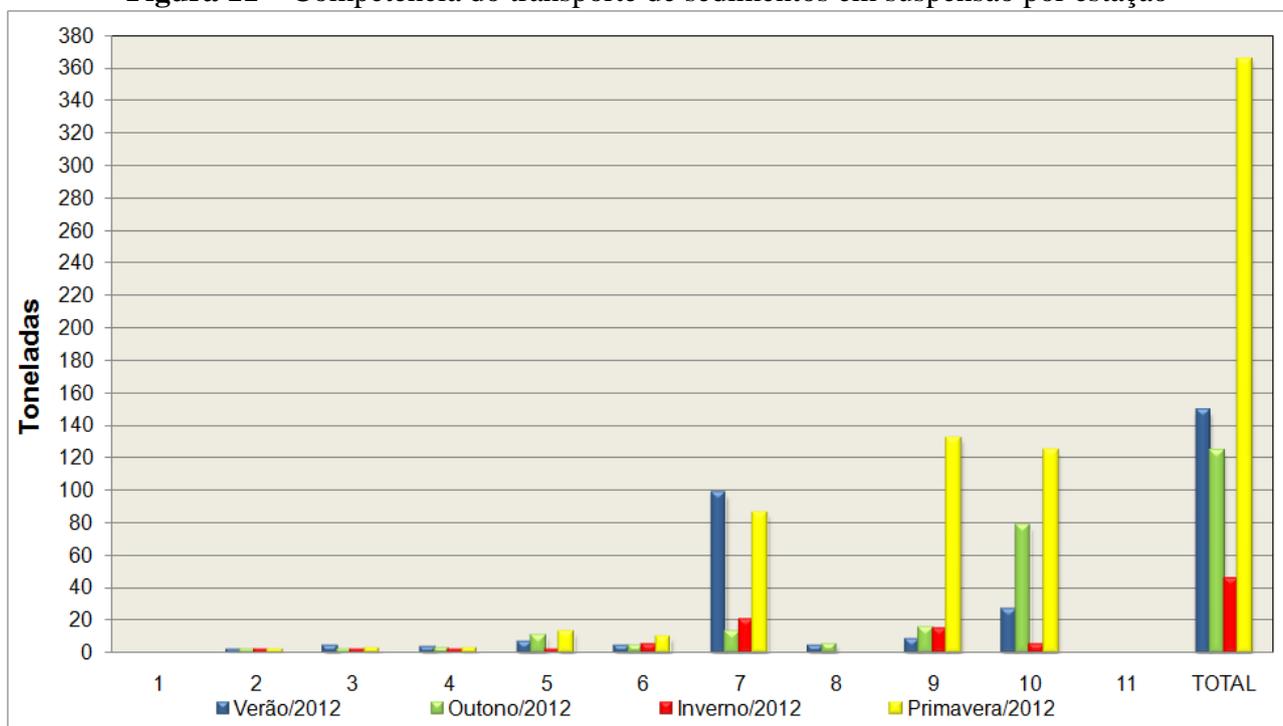
De modo geral a bacia obteve as maiores quantidades de sedimentos em suspensão durante o verão e primavera, como mostra a Figura 11, que pode ser explicada devido ao solo estar

ressecado pelo inverno muito seco e, com a chegada da primavera e o aumento das chuvas, todo esse solo é levado às partes mais baixas, que são os cursos d'água.

No verão, por ser uma época de chuvas, mas com uma variável que é a primavera, que também é uma época de intensa chuva, faz com que o verão atinja 148,23498 ton/estação. Posteriormente, com a chegada do outono, essa quantidade se manteve quase que constante, pois mesmo sendo uma época mais seca que o verão, ocorreu precipitação atípica no mês de junho, que registrou elevada precipitação em relação à normal, fazendo com que essa estação alcance 123,22349 toneladas de transporte de sedimentos em suspensão.

Já o inverno, obteve a menor quantidade de sedimentos em suspensão, por ser uma época mais seca e atingindo 44,03207 ton/estação. A redução da precipitação deixou o solo ressecado, aerado e mais vulnerável à erosão. Com as primeiras precipitações da primavera, a forte dissecação e transporte de sedimentos alcançou o maior volume dentre todas as estações, atingindo um total de 365,25248 ton/estação.

Figura 11 – Competência do transporte de sedimentos em suspensão por estação



Fonte: Elaborada pelo autor

No verão, por ser uma época de chuvas, mas com uma variável que é a primavera, e que também é uma época de intensas chuvas, faz com que o verão atinja 148,23498 ton/estação, posteriormente, com a chegada do outono, essa quantidade se manteve próxima, pois mesmo sendo uma época mais seca que o verão, ocorreu uma variável atípica, que foi o mês de junho, que obteve uma elevada precipitação em relação a normal, fazendo com que essa estação alcance 123,22349 ton/estação. Já o inverno, que obteve a menor quantidade de sedimentos em suspensão por ser uma época mais seca, atingiu 44,03207 ton/estação, com essa redução das precipitações, deixando o solo mais ressecado e mais vulnerável aos agente externos. A primavera alcançou a maior quantidade de sedimentos em suspensão dentre todas as estações, atingindo um total de 365,25248 ton/estação.

Com relação ao transporte de sedimentos em suspensão em cada ponto, pode-se perceber a interferência dos fatores de relevo, geologia, pedologia, declividade, uso e ocupação e, principalmente, a precipitação no transporte de sedimentos em suspensão na bacia, pois como se percebe, os pontos 7 e 9 obtiveram uma alta quantidade de sedimentos, pois é uma área de ruptura de relevo, com uma mudança na geologia e onde a ocupação da terra apresenta uma área de

pastagem, que é uma importante variável, pois aumenta o escoamento superficial, sendo que a margem direita se encontra aberta, onde cavalos que pertencem à fazenda se aproximam do córrego e aumente a quantidade de sedimentos devido ao pisoteio.

O ponto 10, por ser uma área de depósitos de cascalho, composta por depósitos aluvionares, vem sendo notória sua alta na sedimentação, ocasionando como uma das maiores quantidades de sedimentos em suspensão.

4 CONSIDERAÇÕES

Pode-se notar que todas estas variáveis são de extrema importância, tanto para a análise geoambiental quanto para sua influência na quantidade de sedimentos em suspensão, pois, devido ao relevo, declividade, uso e ocupação do solo e as demais unidades, percebe-se as diferenças entre os pontos de coletas das águas. Portanto, há de se destacar que cada um dos parâmetros utilizados no diagnóstico geoambiental são interligados, onde qualquer alteração em um deles acarreta uma mudança em todo o ambiente.

Na bacia hidrográfica predomina um relevo suavemente aplainado, recoberto principalmente por latossolos vermelho-escuro, com textura média, que se assenta sobre terrenos da formação Santo Anastácio em sua grande maioria. Através desta predominância alguns pontos apresentaram diferenças em relação aos demais, como no caso dos pontos 7, 9 e 10, principalmente pela sua característica, tanto de relevo quanto de geologia, declividade, pedologia e uso e ocupação da terra, sendo esses pontos com uma composição mais suscetível ao carreamento de sedimentos, pois apresentam sedimentos inconsolidados e cascalho.

O uso e ocupação da terra apresentam importante variável no transporte de sedimentos em suspensão, alertando também para a importância da mata ciliar para a qualidade e quantidade de suas águas, pois antes do plantio do eucalipto, esta área era utilizada pela pecuária extensiva de corte, que derrubou praticamente toda mata ciliar, deixando apenas pequenas manchas esparsas. Foi plantada 'braquiária' até as margens do córrego, levando o seu alto curso a secar e os buritis existentes a morrerem. Seu médio curso, mesmo no verão, drena reduzido volume de água e no inverno e primavera de 2012 secou. Com o plantio do horto Buriti pela International Paper, a partir da década de 90, a área das matas ciliares foi deixada em pousio para autorregeneração, porém, devido a sua grande degradação no passado, estas não conseguem se autorregenerar, tendo que ser realizada a sua recomposição.

A concentração das precipitações proporciona maior potencial erosivo e consecutivo aumento de transporte de sedimentos em suspensão ao longo do canal fluvial. No verão, devido ao aumento da precipitação, esperava-se maior transporte de sedimentos, porém este ocorreu na primavera. No outono, devido à diminuição das precipitações, também ocorreu diminuição no transporte de sedimentos em suspensão, para 123,22 toneladas. Já, no inverno, por ser um período muito seco em relação às outras estações, obteve-se quantidade de sedimentos em suspensão muito inferior às outras estações. Na primavera, obteve a maior quantidade de sedimentos, mostrando, assim, a questão do ressecamento do solo durante o inverno e esse solo solto sendo levado durante a primavera, onde começa a estação das chuvas.

Concluindo, o plantio de eucalipto, além de facilitar a infiltração protegendo mais o solo contra a ação das águas pluviais, proporciona uma redução do transporte de sedimentos em suspensão, mais do que as áreas ocupadas com pastagens na BHCM, que juntamente com a declividade, geologia, uso e ocupação da terra na área, alteram de forma significativa o transporte de sedimentos em suspensão.

AGRADECIMENTOS

Os autores desta pesquisa são gratos à empresa Fibria-MS Celulose Ltda; pela auxílio e disponibilização de alguns dados relevantes, bem como à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, que disponibiliza os equipamentos necessários na elaboração desta pesquisa.

Os autores também agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES que auxilia na pesquisa, através de bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

CHRISTOFOLLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: E. Blücher, 1980.

CREPANI, E. et al. Curso de sensoriamento remoto aplicados ao zoneamento ecológico-econômico [CD-ROM]. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São Paulo: Image Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnico-Científica.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Serviço Geológico do Brasil**. Geobank. Disponível em: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 12 maio 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 1. ed. Brasília, DF, 1999.

INTERNATIONAL PAPER. **Estudo de impacto ambiental: fábrica de Três Lagoas**. Três Lagoas, 2006.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável. **Programa Zoneamento Ecológico-Econômico: diretrizes metodológicas para o zoneamento ecológico-econômico do Brasil**. Brasília, DF, 2001.

OLIVEIRA, A. M. M. et al. Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo predictivo. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 5, p. 63-86, 2007.

RAMALHO-FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1995.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 64-74, 1994.

SALLUN, A. E. M. et al. Argilominerais da aloformação Paranavaí (SP, PR E MS). **Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 311-319, Nov. 2010.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia. **Resultados do Produto Interno Bruto de Ms para 2010**. Campo Grande, 2001. Disponível em: <<http://www.semec.ms.gov.br/>>. Acesso em: 14 abr. 2013.

TONELLO, K. et al. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões - MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n.1, p. 135-152, jan./jun. 1997. Disponível em: <<http://rhama.net/download/artigos/artigo22.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2004.

Data de submissão: 05.01.2015

Data de aceite: 06.08.2015

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.