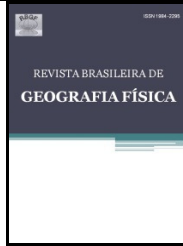




ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Influência do Uso do Solo e da Drenagem no Transporte de Sedimentos para um Reservatório de Água no Semiárido de Pernambuco¹

Clarisse Wanderley Souto Ferreira², Maria do Socorro Bezerra de Araújo³

¹Parte da tese de doutorado da primeira autora no Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFPE; ²Professora do Centro Universitário Maurício de Nassau, UNINASSAU, Recife-PE. E-mail: clarissewsf@hotmail.com;

³Professora do Dep. Ciências Geográficas, UFPE. E-mail: socorro@ufpe.br.

Artigo recebido em 06/09/2014 e aceito em 16/10/2014

RESUMO

O uso e ocupação do solo e o sistema de drenagem exercem grande influência no escoamento superficial e aporte de sedimentos numa bacia hidrográfica, podendo alterar qualidade e disponibilidade de água, causando impactos nas condições socioeconômicas da população. O objetivo deste trabalho foi fazer uma análise integrada do uso e ocupação do solo, do padrão de drenagem e de algumas características morfométricas da bacia hidrográfica de contribuição de um reservatório de água no semiárido, para determinar a influência destes parâmetros no processo erosivo e no transporte de sedimentos para este reservatório. Em relação à bacia hidrográfica, foram determinadas hierarquia e características morfométricas, e elaborados os mapas de drenagem e de uso e ocupação do solo, usando sensoriamento remoto e geoprocessamento. Os dados foram validados no campo com auxílio de GPS. Em relação aos sedimentos, amostras foram coletadas em cinco pontos de entrada de drenagem no entorno do reservatório e determinadas sua granulometria e densidade. Foi realizada análise de correlação entre parâmetros determinados e feita uma análise integrada dos fatores que influenciam o transporte de sedimentos. O mapa de uso e ocupação do solo apresentou 40% de área com solo exposto e cultivo temporário, indicando quase metade da área da bacia com alta susceptibilidade à erosão. A declividade, associada à forma alongada da bacia, favorece o escoamento superficial, com potencial de promover elevadas taxas de transporte de sedimentos. Entretanto, quantidades equilibradas de areia, silte e argila, encontradas nos sedimentos, indicam baixa velocidade de movimento, minimizando o efeito do transporte.

Palavras-chave: açude, erosão do solo, escoamento superficial, bacia hidrográfica, sensoriamento remoto, geoprocessamento.

Influence of Land Use and Drainage on Sediment Transport for a Water Reservoir in Pernambuco Semi-arid

ABSTRACT

Land use, occupation, and drainage system have great influence on runoff and on sediment transport in a river basin. This matter could change quality and availability of water causing impacts on socio-economic conditions of the population. The aim of this study was to make an integrated analysis of the land use and occupation, drainage pattern and morphometric characteristics of the watershed of a water reservoir in the semi-arid region to determine the influence of these parameters on transport sediment for the reservoir. Regarding the watershed were determined hierarchy and morphometric characteristics and elaborate maps of drainage system and land use and occupation, using remote sensing and GIS. Data were validated in the field using GPS. Regarding the sediments, samples were collected in five drainage points around the reservoir and determined its particle size and density. Correlation analysis was performed between certain parameters and made an integrated analysis of the factors influencing sediment transport. The map of land use and occupation showed 40% of area with bare soil and temporary cultivation indicating nearly half of the basin area with high susceptibility to erosion. The

slope associated with the elongated shape of the watershed favors the runoff with the potential to promote high sediment transport rates. However, balanced amounts of sand, silt and clay found in sediments, indicate low movement speed, minimizing the effect of transport.

Keywords: dam, soil erosion, run-off, watershed, remote sense, geoprocessing.

* E-mail para correspondência: clarissewsf@hotmail.com (Ferreira, C.W.S).

Introdução

Os açudes são reservatórios extremamente importantes no semiárido, complementando a captação de água para suprir as necessidades da população e as atividades agropecuárias, em área onde predominam rios intermitentes. Esses reservatórios de água estão sujeitos aos mesmos impactos resultantes dos processos erosionais que ocorrem nos rios. A retirada da vegetação, o manejo inadequado do solo e a ocupação urbana acelerada nas áreas do entorno de rios ou açudes influenciam, diretamente, os regimes hidrológicos, hidráulicos e sedimentológicos, além da qualidade de suas águas superficiais (Bellinaso; Paiva, 2007).

Em uma bacia hidrográfica, o transporte de sedimentos é muito variável, desde as partes altas até as planícies. Isso depende das rochas, dos solos, da cobertura vegetal, das declividades e do regime de chuvas, principalmente (Carvalho, 1994; Zachar, 1982). De maneira geral, nas porções altas de uma bacia hidrográfica há maior erosão e transporte de sedimentos. A erosão vai diminuindo da alta para a média bacia, à medida que as declividades decrescem e as chuvas se tornam menos intensas, fora das regiões montanhosas. Na parte baixa da bacia há muita formação de colúvios, isto é, a maior parte dos sedimentos erodidos se distribui pelos terrenos. (Carvalho, 1994). Os sedimentos semifluidos são geralmente depositados no leito dos lagos e reservatórios graças ao carreamento das partículas mais finas, pelas enxurradas, a partir da bacia de contribuição, além de deposição de matéria orgânica em decomposição, originada na bacia ou na própria água (Silva, 2004).

A construção de uma barragem ou açude em curso d'água alteram as características hidráulicas do trecho do rio, à montante, com o aumento da área molhada, e conseqüente diminuição da velocidade média. Com isto há uma desaceleração do movimento das partículas sólidas na direção do escoamento, fazendo com que se depositem ao longo do reservatório (Paiva e Paiva, 2003). Assim, as partículas de maior diâmetro vão se depositando na entrada do reservatório, enquanto as mais finas vão se acumular em posições mais abaixo do reservatório ou permanecem em suspensão, podendo

chegar às estruturas de descarga (Paiva e Paiva, 2003).

O conhecimento da quantidade de sedimentos transportada pelos rios é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região, uma vez que os danos causados pelos sedimentos dependem da quantidade e da natureza destes, às quais, por sua vez, dependem dos processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos (Scapin et al, 2004). Dentre os problemas causados pelos sedimentos transportados pelos rios, segundo Scapin et al. (2004), destacam-se assoreamento e inviabilidade de aproveitamento para abastecimento e para irrigação, seja por turbidez ou contaminação por produtos tóxicos.

Os problemas decorrentes dos sedimentos aumentam à medida que há maior desenvolvimento e ocupação do espaço geográfico, tanto em relação à erosão como à sedimentação. No entanto, estudos e pesquisas em hidrossedimentologia são pouco realizados, tendo em vista que as conseqüências não são imediatas e os trabalhos, incluindo coletas regulares de dados e amostras, análises de laboratório, processamento de dados e estimativas de parâmetros, são onerosos e exigem muito tempo e esforço (Beasley, 1972; Carvalho, 1994).

A compreensão do processo erosivo-sedimentológico é complexa, pois envolve vários fatores de ordem física, meteorológica e antrópica/cultural. Os fatores exercem influência, de forma e magnitude variável, conforme o ambiente de ocorrência. Dentre os principais fatores destacam-se o solo, o clima, a topografia e a cobertura do solo (Silva, 2004).

As propriedades físicas do solo exercem diferentes influências na resistência à erosão, incluindo densidade e granulometria dos sedimentos (Reichardt, 1987; Weirich Neto et al., 2002; Alves et al., 2007), que têm uma influência direta na estrutura e na condutividade hidráulica do solo. A densidade do solo seco relaciona a massa do solo seco por sua unidade de volume do solo. (Brady, 1989). O uso principal da densidade do solo (D_s) é como indicador da compactação. É também usado para medir alterações da estrutura e porosidade do solo

(Reinert e Reichert, 2006). A porosidade refere-se à proporção de espaços ocupados pelos fluidos em relação ao espaço ocupado pela massa de solo. A perda dessa propriedade está associada à redução do teor de matéria orgânica, à compactação e ao efeito do impacto das gotas de chuva, fatores estes que, ao causarem diminuição no tamanho dos agregados maiores, reduzem, em consequência, o tamanho dos poros (Bertoni e Lombardi Neto, 1990). A textura compreende a distribuição quantitativa das classes de tamanho de partículas (granulometria) que compõem o solo e depende das características do material originário e dos agentes naturais de formação do solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1990). As partículas com diâmetros inferiores a 2 mm são as de maior importância, pois muitas propriedades físicas e químicas da porção mineral do solo dependem da proporção que ele contém dessas partículas de tamanho pequeno.

As mudanças no uso e ocupação do solo de uma bacia hidrográfica, decorrentes principalmente de atividades antrópicas, tais como desmatamento, reflorestamento e urbanização entre outras, têm impactos consideráveis sobre o comportamento hidrológico da mesma, e em particular no que se refere à geração de escoamento superficial (Paiva e Paiva, 2003). Sob o ponto de vista da gestão da bacia hidrográfica, toda ação de planejamento visando o ordenamento territorial, e em consequência a atenuação ou eliminação de impactos decorrentes das alterações no uso do solo, deve ser precedida de um diagnóstico ou monitoramento do uso e ocupação do solo. No entanto, as extensões a serem avaliadas podem inviabilizar um mapeamento preciso e atualizado utilizando métodos convencionais, aerofotogrametria, topografia e cartografia, para a aquisição de dados, devido aos elevados custos e prazos para obtenção das informações (Paiva e Paiva, 2003; Calijuri, 1996). A exigência de uma visão globalizada das questões ambientais tem contribuído para uma crescente demanda por informações cartográficas, obtidas em ritmo cada vez mais intenso graças ao desenvolvimento de técnicas apoiadas no uso de computadores e às imagens obtidas por sensores instalados a bordo de satélites espaciais, que, com suas características de repetitividade e periodicidade, tornaram-se também ferramentas indispensáveis na análise e monitoramento multitemáticos e multitemporais de fenômenos naturais ou decorrentes de ações antrópicas em nosso planeta (Calijuri, 1996). Assim, o geoprocessamento, apresenta um grande potencial

para suprir a carência de dados e informações adequadas para tomada de decisões sobre problemas urbanos, rurais e ambientais, através de técnicas matemáticas e computacionais, e tecnologias, para adquirir, posicionar, e tratar dados e informações geográficas. Dentre essas ferramentas destacam-se os sistemas de informações geográficas, as técnicas de processamento de imagens de satélite de observação da terra, e as técnicas de modelagem numérica do terreno (Paiva e Paiva, 2003; Calijuri, 1996).

No sensoriamento remoto, a metodologia mais utilizada é aquela baseada na análise da energia ou radiação eletromagnética (REM) refletida ou emitida pelos alvos. Como exemplos de alvos naturais, pode-se citar: corpos d'água, vegetação, solo exposto, entre outros (Paiva e Paiva, 2003). A energia refletida e/ou emitida pelos alvos em diversas regiões do espectro magnético é medida por sensores, montados em aeronaves ou satélites de observações da terra, tais como LANDSAT e SPOT. Os dados assim obtidos são fornecidos ao usuário na forma de imagens digitais adequadas à análise com o auxílio de computadores, ou impressas em papel fotográfico para impressão visual. Por meio de imagens digitais obtidas simultaneamente em várias bandas espectrais, é possível identificar as características físicas do alvo, sua distribuição espacial e, quando se dispõem de imagens obtidas em datas distintas, as variações que ocorrem ao longo do tempo (Paiva e Paiva, 2003). Contudo, um Sistema de Informação Geográfica-SIG integra, além de informações oriundas de imagens de satélites, aquelas informações espaciais oriundas de mapas, dados de censos, cadastros urbano e rural e modelos numéricos de terreno. Enfim, um SIG destina-se a atuar como uma ferramenta eficiente de planejamento em todas as aplicações que fazem uso de mapas. Portanto, todas as atividades que envolvem a coleta de dados sobre a superfície terrestre podem ser beneficiadas por um sistema dessa natureza (IM et al; 2012; Valério Filho, 1994; Tucci, 2000).

Com o sensoriamento remoto é possível obter índices de vegetação e valores de Albedo da superfície extremamente úteis para a caracterização ambiental de grandes áreas. Um índice de vegetação atualmente amplamente utilizado é o Índice de Realce da Vegetação (*Enhanced Vegetation Index – EVI*) proposto por Huete (1997) e desenvolvido para promover a redução das influências atmosféricas e do solo de fundo do dossel no monitoramento da vegetação (Justice, 1998).

A análise isolada de um único fator normalmente explica pouco os processos erosivos. A análise integrada de diversos fatores que influenciam a erosão e, principalmente, suas inter-relações fornecem subsídios que contribuem mais substancialmente para a compreensão do processo. Esta análise integrada também pode indicar formas adequadas de manejar o solo e sua cobertura, de modo a minimizar os problemas causados com o transporte de sedimentos na bacia hidrográfica, especialmente o assoreamento dos cursos de água e dos reservatórios (Silva, 2004).

O objetivo deste trabalho foi fazer uma análise integrada do uso e ocupação do solo, do padrão de drenagem e de algumas características morfométricas da bacia hidrográfica de contribuição de um reservatório de água no semiárido, para determinar a influência destes parâmetros no processo erosivo e no transporte de sedimentos para este reservatório.

O reservatório Açude Saco I, localizado no município de Serra Talhada-PE, é adequado a este estudo porque se encontra encaixado no relevo, de tal forma, que a geomorfologia do seu entorno favorece um maior controle do estudo do transporte de sedimentos pela bacia hidrográfica de contribuição. Assim, este estudo poderá servir de referência para outros reservatórios com configuração geomorfológica semelhante e os dados

obtidos servirão de base para a tomada de decisões em políticas públicas voltadas para o uso da água na região.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado no Açude Saco I, localizado na bacia hidrográfica do rio Pajeú, região semiárida do estado de Pernambuco, no município de Serra Talhada (Figura 1). O Açude Saco I está situado nas coordenadas 38° 17' 9.01" W e 7° 56' 42,7" S, teve sua construção concluída no ano de 1936, para fins de abastecimento humano e irrigação, possuindo uma área de 5,65 km², com capacidade de acumulação de água de 36.000.000 m³ (FUNDAJ, 2009). É um dos principais corpos de acumulação hídrica do município. A área municipal possui 2959 km² e encontra-se inserida na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas e elevações residuais (CPRM, 2005). Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino (CPRM, 2005).

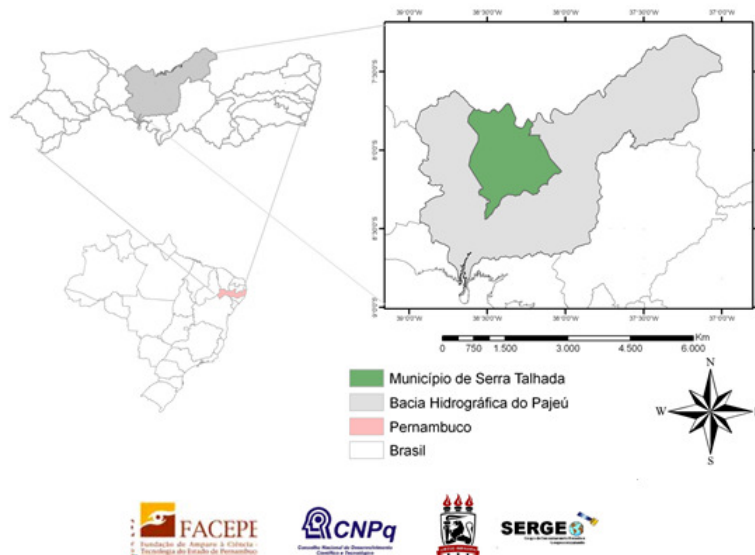


Figura 1. Localização espacial do município de Serra Talhada, semiárido de Pernambuco. Fonte: Ferreira et al. (2010).

Na área da bacia hidrográfica do Açude Saco I predominam Cambissolos Latossólicos textura

média e argilosa, substrato granito e sienito; Luvisolos, pouco profundos, textura média/média e

argilosa; e Planossolos Háplico e Nátrico (Araújo Filho et al., 2014; EMBRAPA, 2011). A precipitação média histórica do município é em torno de 639 mm (ITEP/LAMEPE, 2011). Todos os cursos d' água no município têm regime de escoamento intermitente (CPRM, 2005). A área total da bacia de contribuição do Açude Saco I é de 137 km², que corresponde a uma bacia de 4^a ordem, conforme determinado na caracterização morfométrica (Ferreira et al., 2010). A bacia do Açude Saco I é típica do semiárido brasileiro quanto às práticas de exploração agrícola do solo e recursos naturais. O entorno do açude é caracterizado por uma vegetação de caatinga hiperxerófila nas encostas. Na margem direita do reservatório predominam pequenos sítios com plantio de sequeiro, onde são cultivadas espécies típicas como milho, feijão, sorgo, girassol e palma, bem como, exploração de pecuária extensiva, no período de chuvas (IPA, 2008). No período de estiagem são realizados plantios com irrigação do açude. Nesta área são desenvolvidas também várias outras atividades, tais como: criação de peixes, com tratamento e preparação para comercialização; plantio de cebolas; e caprinocultura, pelo Instituto de Pesquisas Agropecuárias-IPA. Com relação à criação de animais, atualmente esta atividade se encontra limitada, uma vez que as áreas ocupadas no entorno do açude são controladas pelo IPA, que não autoriza a exploração indiscriminada por parte dos usuários. Na margem esquerda do açude não são desenvolvidas atividades. A área apresenta a vegetação de caatinga arbóreo-arbustiva nativa conservada, com exceção de uma pequena região, a qual possui alguns resquícios de plantio do capim buffel. Nesta área predomina um relevo de topografia muito íngreme, com formação rochosa (IPA, 2008).

Levantamento de dados

A aquisição dos dados foi feita junto aos órgãos competentes. Na Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), foi obtido o relatório de monitoramento da qualidade da água de reservatórios do Estado de Pernambuco em 2006, 2007 e 2008, bem como a base de dados para elaboração dos mapas georeferenciados. No Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), foi obtida a ficha técnica com os dados referentes à construção do Açude Saco I. O tratamento dos dados e a estimativa de atributos foram realizados utilizando-se o *software* ArcGIS 9.3 (ESRI, 2008).

Amostragem dos sedimentos

As coletas dos sedimentos foram realizadas em 2010, no entorno do açude, após sua retração no período pós chuvas. Para a definição dos pontos foi feito, inicialmente, um estudo do mapa da bacia hidrográfica e, através de reconhecimento da área, foi possível determinar que as coletas seriam feitas nos cinco pontos de contribuição do açude. Além deste critério foi observado também o "Esquema com Distribuição Sistemática dos Pontos de Amostragem (malha quadrada)" (CETESB, 1999), que além de evitar a coleta de amostras em pontos muito próximos, apresenta as mesmas vantagens da subdivisão da área (com a possibilidade de redução de pontos de amostragem, permitindo uma boa representatividade da área). Foram definidos cinco pontos de amostragem, localizados nos pontos de entrada de drenagens do reservatório, nomeados de P1, P2, P3, P4 e P5. Desta maneira, para cada ponto foram retiradas amostras indeformadas, utilizando-se um amostrador de solo tipo Huland, formado por um conjunto de cilindros metálicos, que se acoplam, e um bastão que auxilia na perfuração do solo para retirada da amostra. Na base do cilindro metálico foi adaptado um tubo de PVC com diâmetro e altura de 5 cm, e depois fechado na parte superior com uma tampa. As amostras foram retiradas nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, com cinco repetições. Nestes mesmos pontos e camadas, amostras deformadas foram retiradas e armazenadas em sacos plásticos.

Hierarquia das bacias

A hierarquia fluvial consiste no processo de estabelecer a classificação de determinado curso d' água no conjunto total de uma bacia hidrográfica, no qual se encontra. Esta hierarquização é realizada com a função de facilitar e tornar mais objetivo os estudos morfométricos sobre as bacias hidrográficas (Christofolletti, 1980).

A hierarquização de drenagem foi realizada por meio dos métodos propostos por Strahler (1952) e a magnitude de drenagem foi feita seguindo os parâmetros estabelecidos por Shreve (1966). A partir desta classificação inicial foi possível a análise de índices morfométricos para a bacia hidrográfica de contribuição do açude.

Caracterização morfométrica

Para a realização da caracterização morfométrica desta bacia, foram necessárias as delimitações de atributos básicos, a saber: áreas, perímetros,

comprimentos axiais. A partir destes atributos foram calculados os índices de forma das bacias, traduzidos nos valores de coeficiente de compacidade (K_c), fator de forma (K_f) e índice de circularidade (I_c).

Coeficiente de compacidade (K_c)

O Coeficiente de compacidade (K_c) que é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a da bacia, foi calculado a partir da equação:

$$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

em que K_c é o coeficiente de compacidade, P é o perímetro em km e A é a área da bacia em km^2 . Esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia independente do seu tamanho, assim quanto mais irregular ela for, maior será o coeficiente de compacidade, ou seja, quanto mais próxima da unidade, mais circular será a bacia e será mais sujeita a enchentes (Villela e Mattos, 1975).

Fator de forma (K_f)

O Fator de forma (K_f) é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão). Ele foi calculado a partir da equação:

$$K_f = \frac{A}{Lx^2} \quad (2)$$

em que K_f é o fator de forma, A é a área da bacia em km^2 e Lx é o comprimento axial da bacia em km. Uma bacia com fator de forma baixo indica que a mesma é menos sujeita a enchentes que outra, de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior (Villela e Mattos, 1975).

Índice de circularidade (I_c)

O Índice de Circularidade é outro parâmetro utilizado. Ele tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna-se alongada. Ele foi calculado pela equação:

$$I_c = 12,57 \frac{A}{P^2} \quad (3)$$

em que I_c é o índice de circularidade, A é a área em km^2 e P é o perímetro em km (Tonello, 2005).

Além destes atributos, foram calculados também a densidade de drenagem (D_d) e a declividade do

terreno. A ordem dos cursos d'água foi determinado em trabalho anterior (Ferreira et al., 2010), onde a bacia de contribuição do açude foi caracterizada como de 4a. ordem.

Densidade de drenagem (D_d)

A estimativa da densidade de drenagem foi realizada baseada no ordenamento dos canais, e é o resultado da divisão entre o comprimento total dos cursos d'água pela área da bacia. Esse índice pode variar de 0,5 km.km^2 em bacias com drenagem pobre a 3,5 km.km^2 ou mais em bacias bem drenadas (Villela; Mattos, 1975). A densidade de drenagem é dada pela fórmula:

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (4)$$

onde D_d = densidade de drenagem; L_t = comprimento total dos canais (km); A = área da bacia (km^2).

Declividade do terreno

A avaliação da declividade foi realizada nos cinco pontos de coleta dos sedimentos, georeferenciados no local. Com as cotas de elevação nos pontos de coleta já conhecidas e analisando o mapa de drenagem foi possível verificar, através das curvas de nível, o valor das cotas que se encontravam localizadas acima dos pontos de coleta, que tinham possibilidade de contribuição de aporte de sedimentos para Açude. Desta maneira, utilizando-se as ferramentas do ArcGis 9.3 (ESRI, 2008) foram determinadas as distâncias de cada ponto de coleta para a curva de nível mais elevada e, conseqüentemente, com as elevações e as distâncias foram obtidas a declividade para cada ponto de coleta.

Análises dos sedimentos em laboratório

As amostras de sedimentos coletadas nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm foram conduzidas ao laboratório para as devidas análises.

Granulometria

Para análise da granulometria foram utilizadas as amostras deformadas, que foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha. A análise textural foi efetuada pelo método do densímetro, conhecido também como método do hidrômetro (Bouyoucos, 1926) baseado no princípio de que a matéria em suspensão (silte e argila) confere determinada densidade ao líquido. Após o

cálculo do percentual das frações granulométricas do solo, foi utilizado o triângulo textural, para determinar as classes texturais (EMBRAPA, 1997).

Densidade do solo

A determinação da densidade do solo (Ds) baseia-se na coleta de uma amostra de solo de volume conhecido e com estrutura preservada (Reinert e Reichert, 2006). Para determinação da densidade foram utilizadas as amostras de sedimentos indeformadas, coletadas nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm, em tubos de PVC com os diâmetros e as alturas conhecidas. No laboratório, cada amostra foi cortada em fatias de 1 cm, totalizando cinco fatias por tubo e nelas determinada a densidade. As fatias de sedimento foram transferidas, individualmente, para um anel de PVC, com suas características previamente determinadas (altura das paredes, diâmetro e peso) e coberto com uma tela (com o peso previamente determinado). O conjunto (solo úmido, cilindro e tela) de cada amostra de 1cm foi pesado e levado para secar ao ar por aproximadamente oito dias. Com o sedimento seco, foi realizada uma nova pesagem do conjunto a fim de se obter o peso do sedimento seco ao ar. Dessa maneira, com o peso e o volume da amostra do sedimento seco, a cada 1cm, foi determinada a densidade do sedimento.

Uso e cobertura do solo e drenagem

Para elaboração do mapa de uso e cobertura do solo (Figura 2) foi utilizada a base de dados obtidos a partir dos resultados do EVI das imagens do produto do sensor Mapeador Temático do satélite Landsat-5, obtida no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), de órbita 216 e ponto 66, já processadas no *software* Erdas Imagine 9.1. Para estas análises foi selecionada uma imagem de 06 de 49 outubro de 2010, com o Sistema de Referência: Datun WGS84, que foi recortada para a área de estudo, utilizando o *software* ArcGis 9.3 (ESRI, 2008). Através das ferramentas de modelagem e tratamento de dados deste *software*, foi realizada a digitalização e exportação das informações referentes à caatinga arborea, caatinga arboreaarbustiva, caatinga arbustiva, solo exposto, áreas irrigadas e de cultivos temporários, área com água e área urbana para elaboração do mapa de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica de contribuição do Açude Saco I. Com este mapa foi possível calcular a área das classes de vegetação e a do açude. Os dados foram posteriormente validados em campo pela coleta dos pontos em GPS (Garmin

Etrex) e material fotográfico, nos dias 18 e 19 de maio de 2011.

Para elaboração do mapa de drenagem foi utilizada a base de dados obtidos a partir dos resultados do EVI - Índice de Vegetação das imagens do produto do sensor Mapeador Temático do satélite Landsat-5, obtida no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), de órbita 216 e ponto 66, já processadas no *software* Erdas Imagine 9.3. Para esta análise foi selecionada uma imagem de 06 de outubro de 2010, com o Sistema de Referência: Datun WGS84, que foi recortada para a área de estudo, utilizando o *software* ArcGis 9.3 (ESRI, 2008). Através das ferramentas de modelagem e tratamento de dados deste *software* foram realizadas: 1- a exportação das coordenadas geográficas e das cotas de elevação e correspondente digitalização da bacia hidrográfica de contribuição do açude; 2- a definição das linhas de drenagem e das curvas de nível; 3- a determinação das dimensões da bacia e do açude, da declividade e do comprimento do declive; e 3- a elaboração do mapa de drenagem da bacia de contribuição do açude. A partir deste mapa, foi possível estimar a influência da drenagem no transporte de sedimentos para o reservatório.

Os dados estimados para elaboração do mapa de uso e cobertura do solo e do mapa de drenagem foram validados em campo pela coleta dos pontos em GPS (Garmin Etrex) e material fotográfico, referentes aos diferentes tipos de uso e cobertura do solo, nos dias 18 e 19 de maio de 2011. 50 3.4.1

Resultados e Discussão

Caracterização morfológica da bacia hidrográfica de contribuição do açude

O coeficiente de compacidade (kc) calculado para a bacia foi de 1,78 (Tabela 1) e correspondeu a uma forma alongada, favorecendo o escoamento superficial e aporte de sedimentos. Um kc igual à unidade corresponderia a uma bacia circular, com tendência à ocorrência de inundações (Vilela e Mattos, 1975). A propensão a enchentes será maior quanto mais próximo da unidade for o coeficiente de compacidade. Segundo Garcez (1988), desde que outros fatores não interfiram, valores menores do índice de compacidade indicam maior potencialidade de produção de picos de enchentes elevados.

Tabela 1. Valores de área, perímetro e comprimento da bacia hidrográfica de contribuição do Açude Saco I, município de Serra Talhada, semiárido de Pernambuco.

Parâmetros	Valores
Perímetro (P)	74,53 km
Área (A)	137,07km ²
Comprimento do rio principal (L)	34,62 km
Comprimento axial da bacia (Lx)	27,11 km
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,78
Fator de forma (Kf)	0,18
Índice de circularidade (Ic).	0,31
Densidade de drenagem (Dd)	0,9456

Com relação ao fator de forma (kf), a bacia apresentou Kf de 0,18. Numa bacia estreita e longa, com fator de forma baixo, há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda a extensão da bacia. Além disso, a contribuição dos tributários atinge o curso d'água principal em vários pontos ao longo do mesmo, afastando a bacia da condição de bacia circular (GRH-UFBA, 2005). Isto significa dizer que a bacia de contribuição do açude possui um número significativo de tributários atingindo o rio principal, tornando-a susceptível ao escoamento, corroborando a análise feita a partir do coeficiente de compacidade.

O índice de circularidade (Ic), calculado em 0,31, comprova a forma alongada da bacia. Seu valor se distancia da unidade, evidenciando um menor risco de grandes cheias em condições normais de pluviosidade anual, e topografia muito favorável ao escoamento superficial, corroborando a avaliação feita a partir do coeficiente de compacidade (Kc).

Com relação ao sistema de drenagem, para Strahler (1953), todos os canais sem tributários são de primeira ordem, mesmo que sejam nascentes dos rios principais e afluentes; os de segunda ordem são os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, podendo ter afluentes também de primeira ordem; os de 3º ordem originam-se da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens; os de 4º ordem originam-se da confluência de dois canais de terceira ordem podendo receber afluentes de terceira e primeira ordens.

O sistema de drenagem da bacia de contribuição do açude apresentou ser de 4ª ordem (Tabela 2). Isto demonstra que a bacia possui um sistema de drenagem com ramificações significativas. Sua magnitude de drenagem é de 57, segundo os parâmetros estabelecidos por Shreve (1996), representando o total de canais de nascentes da

bacia, ou seja, o número de canais de primeira ordem obtidos na classificação de Strahler (1953).

Tabela 2. Ordem, número e comprimento de canais de drenagem existentes na bacia hidrográfica de contribuição do Açude Saco I, município de Serra Talhada, semiárido de Pernambuco.

Ordem	Nº de canais	Comprimento dos canais (km)
1ª	57	69,54
2ª	14	25,95
3ª	2	5,98
4ª	1	28,16
TOTAL	74	129,63

O índice de densidade de drenagem (Dd) estimado foi de 0,9456 km/km², o que demonstra um sistema de drenagem pobre, apesar de ter apresentado um número significativo de ramificações, conforme a classificação de Strahler (1953). Este índice de densidade de drenagem sugere a necessidade da construção de mais açudes e ou barragens na área, para maior aproveitamento na captação e armazenamento de água. Bacias hidrográficas terão maior eficiência de drenagem quanto maior for essa relação (Villela e Mattos, 1975).

Com a análise da hierarquia de canais (Strahler, 1953), foi verificado que a bacia possui padrão de drenagem variando entre o dendrítico, pois as correntes se apresentam distribuídas em todas as direções, e o paralelo, sendo este encontrado principalmente onde há um maior controle estrutural do relevo ou nos locais de encostas mais acentuadas.

Uso e cobertura do solo

O fator cobertura sobre o solo é de grande importância na prevenção e controle da erosão e dos agravamentos do processo erosivo, principalmente como proteção do solo. Está intimamente ligado a processos antrópicos (econômicos, sociais e culturais), os quais explicam o modo pelo qual vem sendo manejado o solo de uma região, assim como sua cobertura (Guerra et. al., 2007). O tamanho, a intensidade e a modalidade da exploração da área influenciam o tipo de cobertura e predispõem o solo à erosão (Silva, 2004). Para os mapas de uso e cobertura do solo e de drenagem da bacia de contribuição do açude, foi adotada uma área de abrangência de 55,29 km², correspondente a uma bacia de 3ª ordem (Strahler, 1953). Nesta área foi verificada a predominância de relevo variando de

suavemente ondulado a suavemente montanhoso, com cotas de até 830 m. Nesta área da bacia está localizada parte do município de Serra Talhada, além de alguns povoados rurais.

De acordo com o mapa de uso e cobertura do solo (Figura 2), foi verificado que a vegetação se encontra assim distribuída: caatinga arborea cobrindo uma área com 17,18 km² (31%), caatinga arborea-arbustiva com 8,40 km² (15%) e caatinga arbustiva com 1,20 km² (2%). Devido ao tipo de vegetação encontrada nestas áreas, associada ao

clima da região, pode-se dizer que o solo só fica um pouco mais protegido dos processos erosivos aproximadamente do meio para o fim período chuvoso, quando a vegetação se encontra mais exuberante. Durante o período seco, que ocorre na maior parte do ano, e no início das chuvas, períodos em que a vegetação se encontra ainda sem folhagem, os solos ficam muito expostos e sujeitos à erosão eólica e ou hídrica.

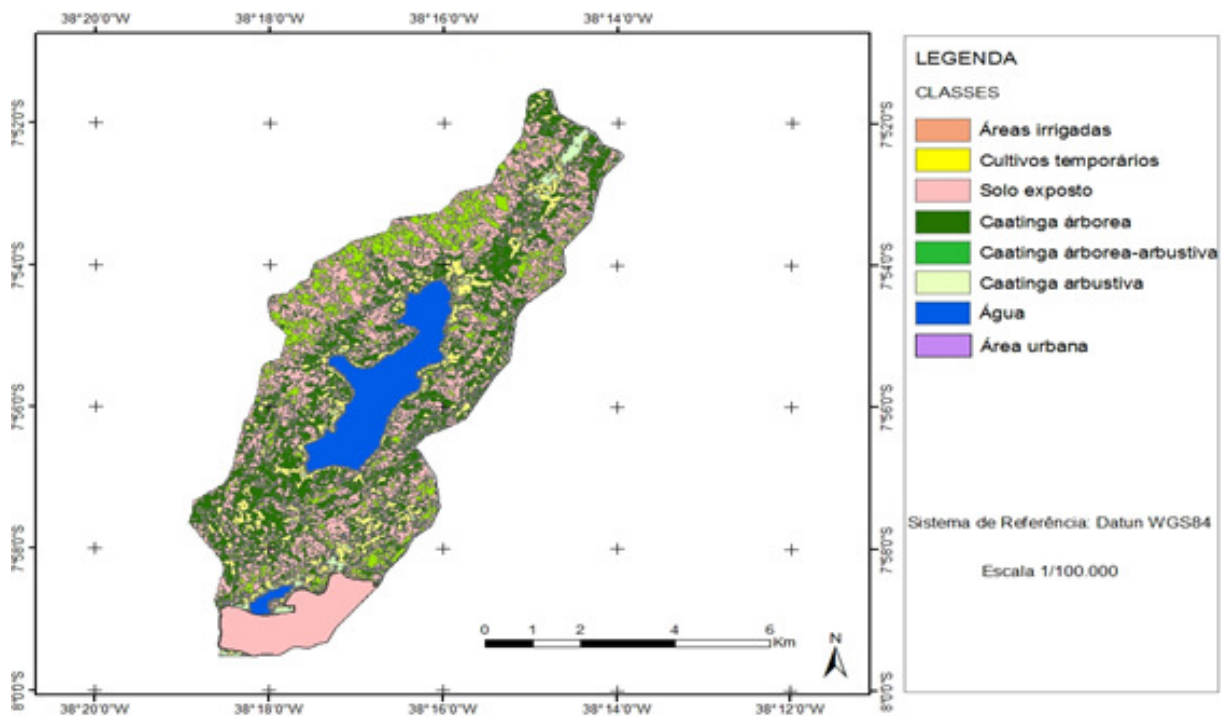


Figura 2. Uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica de contribuição do Açude Saco I, município de Serra Talhada, semiárido de Pernambuco.

A classe apresentada como água, corresponde à área molhada dos açudes Borborema (0,40 km²) e Saco I (5,65 km²), totalizando 6,05 km². Nas proximidades da Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco, são desenvolvidos experimentos com água de irrigação proveniente do Açude Saco I, para o plantio de palma, girassol e fruteiras nativas. Esta região faz parte das áreas irrigadas, as quais representam 0,45 km² da bacia de contribuição (1%). Nas áreas de cultivos temporários, com 5,75 km² (10%), são plantados nos períodos chuvosos, algodão herbáceo, feijão, girassol, mamona, milho e sorgo.

Neste mapeamento, a área com solo exposto apresentou 16,26 km² da área da bacia (30%), o que

representa uma área significativamente extensa, já antropizada e sujeita a processos erosivos mais intensos. Nestas áreas existia a exploração de atividades agropecuárias, como criação de equinos, caprinos e bovinos. A área urbana, ocupando parte do município de Serra Talhada, com 3,55 km², também foi classificada como solo exposto.

De acordo com o mapeamento de uso e cobertura do solo da bacia de contribuição do Açude Saco I, foi observado um percentual significativo de áreas antropizadas, representando aproximadamente 41% da área, que são mais suscetíveis aos processos erosivos e, conseqüentemente ao transporte de sedimentos para o reservatório.

Os atributos apresentados nos mapas foram validados em campo através de fotografias *in loco* e marcação de pontos por sistema GPS. O EVI demonstrou ser eficiente na separação entre corpos hídricos e classificação da cobertura do solo na área dos açudes.

Drenagem da bacia

Dentre os fatores topográficos, a declividade de um terreno é possivelmente o mais importante no condicionamento da gênese e evolução do processo erosivo. A partir do mapa de drenagem da bacia de contribuição do açude (Figura 3), foram determinadas as declividades do terreno (Tabela 3).

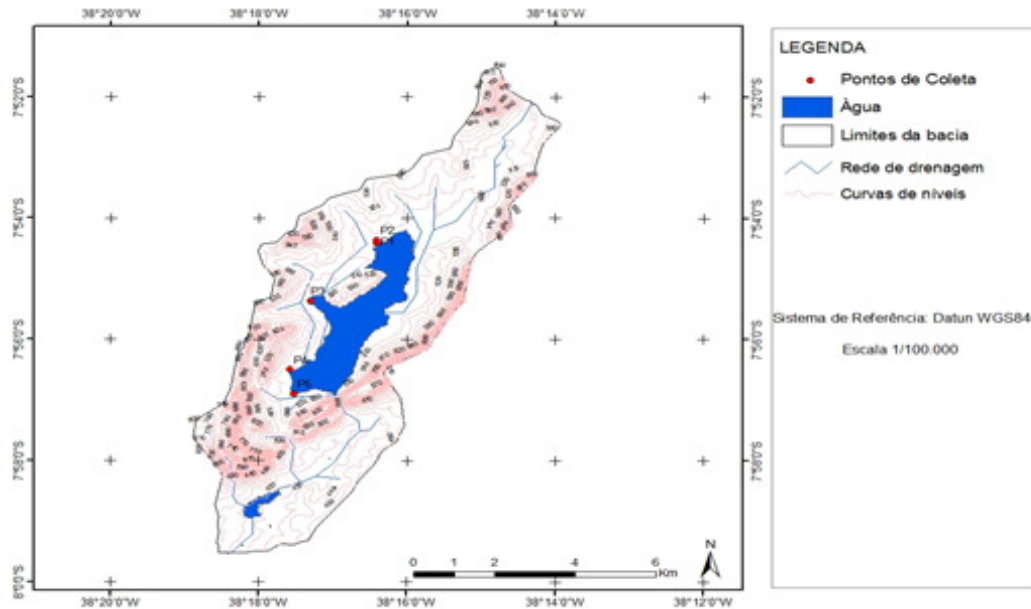


Figura 3. Sistema de drenagem da bacia hidrográfica de contribuição do Açude Saco I, Serra Talhada, semiárido de PE.

Tabela 3. Declividades determinadas nos pontos de coleta de amostras de sedimentos no Açude Saco I, município de Serra Talhada, semiárido de Pernambuco.

Ponto	Elevação da curva de nível mais elevada (m)	Elevação no ponto de coleta (m)	Distância entre o ponto de coleta e a curva de nível mais elevada (m)	Declividade (%)
P1	510	505	1525,90	0,33
P2	510	503	1455,2	0,48
P3	590	493	916,54	10,6
P4	630	487	813,17	17,6
P5	620	502	1289,79	9,15

A partir das declividades encontradas entre os pontos de coleta dos sedimentos e as curvas de nível mais elevadas, situadas em local que possibilita a contribuição do transporte de sedimentos para os pontos em estudo, foi possível classificar o relevo, sendo entre os pontos P1 (0,33%) e P2 (0,48%), relevo plano. Nestas áreas, os solos apresentam baixa susceptibilidade à erosão. Mesmo com uso agrícola prolongado (de 10 a 20 anos), os solos, em

relevo plano ou quase plano e de boa permeabilidade não apresentaram erosão visível em sua maior parte (Silva, 2004). Com as declividades nos pontos P3 (10,6%), P4(17,6%) e P5 (9,15%), o relevo pode ser considerado como ondulado a suave ondulado e os solos são moderadamente susceptíveis à erosão (Silva, 2004). Solos com esta declividade, quando usados com agricultura, podem apresentar erosão moderada. Inicialmente ocorre gradativamente a

remoção do horizonte superficial, e de forma laminar, mas que facilmente pode formar sulcos, ravinas e voçorocas (Guerra et al, 2007). Práticas conservacionistas são necessárias desde o início de sua utilização agrícola. Em alguns casos, o combate à erosão pode ser feito com práticas simples, como realizar o plantio acompanhado de uma curva de nível e cultivar no mesmo terreno plantas diferentes em períodos alternados. Em lavouras de ciclo longo, geralmente são necessários controles intensivos que demandam investimentos e conhecimentos técnicos dos processos e da área sob uso.

O comprimento de rampa não é menos importante que o declive, pois à medida que o caminho percorrido vai aumentando, não somente as águas se tornam mais volumosas como também a velocidade de escoamento aumenta progressivamente e a maior energia resultante se traduz em maior erosão (Rodrigues, 1982). Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), o tamanho e a quantidade do material em suspensão arrastado pela água dependem da velocidade com que ela escorre, que por sua vez, é uma resultante do comprimento de rampa e do grau de declividade do terreno.

Relação da granulometria dos sedimentos com a velocidade da água

Algumas características básicas do solo, como destacabilidade e transportabilidade das partículas são fatores que interferem na velocidade do movimento das águas e podem reduzir os processos erosivos. A transportabilidade está relacionada com

a granulometria e a destacabilidade, com a coesão (Rodrigues, 1982).

Os terrenos com partículas maiores apresentam alta destacabilidade e baixa transportabilidade, ao passo que nos terrenos com partículas de menor diâmetro ocorre o inverso: baixa destacabilidade e alta transportabilidade (Rodrigues, 1982).

O ponto P1 apresentou nas camadas de 0-10 cm, valores mais próximos dos intervalos de 1,20 g/cm³ a 1,90 g/cm³, caracterizando um solo arenoso, enquanto que, os pontos P2, P3, P4 e P5 apresentaram, nas camadas de 0-10 cm valores mais próximos do intervalo de 0,90g/cm³ a 1,70 g/cm³, caracterizando um solo argiloso

Os solos da região deste estudo são solos jovens, pouco evoluídos e por isso de pouca profundidade, típicos de regiões semiáridas (Araújo Filho et al, 2014; Melo et al., 2008). Os sedimentos encontrados nos pontos P1, P3 e P5, nas duas camadas estudadas, e P2, na camada de 5-10 cm pertencem a classe de solo com textura classificada como franco (Tabela 4). Segundo Brady (1989), um solo franco ideal é definido como uma mistura de partículas de areia, silte e argila que apresentam propriedades leves e pesadas em proporções equilibradas. Os solos de importância agrícola são, na maioria, de algum tipo de franco. Os solos francos (textura média) são os mais resistentes à erosão. No ponto P2, na camada de 0-5 cm, o sedimento foi classificado como franco-argilo arenoso, enquanto que no ponto P4, nas duas camadas, os sedimentos foram classificados como franco-arenosos.

Tabela 4. Granulometria e classificação da textura dos sedimentos amostrados em cinco pontos de coleta no entorno Açude Saco I, município de Serra Talhada, semiárido de Pernambuco.

Pontos (cm)	Partículas do sedimento em função do tamanho (%)							Classificação
	Argila	Silte	Areia				Muito Grossa	
			Muito Fina	Fina	Média	Grossa		
P1 (0-5)	19,93	42,25	6,91	12,42	6,29	4,04	1,29	F
P (5-10)	25,80	39,19	6,35	11,32	4,86	3,00	1,30	F
P (0-5)	9,38	30,00	4,61	17,86	14,02	11,76	3,77	F-arg-are
P2 (5-10)	9,38	47,49	7,51	12,29	5,94	4,87	2,10	F
P3 (0-5)	11,72	44,79	4,97	23,33	10,00	7,06	3,10	F
P3 (5-10)	14,07	42,97	5,18	12,40	9,66	6,99	3,14	F
P4 (0-5)	9,38	36,18	6,40	18,29	14,63	7,04	1,53	F-are
P4 (5-10)	8,21	25,39	5,66	22,36	20,90	9,66	1,76	F-are
P (0-5)	11,72	38,54	6,55	16,32	9,36	6,32	2,16	F
P5(5-10)	14,07	38,95	6,28	14,79	9,03	6,13	2,39	F

F = franco; F-arg-are = Franco-argilo-arenoso; F-are = Franco- arenoso.

De uma maneira geral, pode se constatar que os sedimentos encontrados no Açude Saco I possuem quantidades equilibradas de areia, silte e argila (Tabela 4). Comparando-se os tipos de sedimentos encontrados com os valores de velocidades indicados na Tabela 5, pode-se concluir que as velocidades de movimento das águas superficiais em torno de 0,7 e 0,8 m/s representam uma faixa de segurança para que não ocorram processos erosivos nestas áreas.

Tabela 5. Velocidades máximas de movimento de águas superficiais em que não ocorre erosão, conforme o grau de transportabilidade e destacabilidade das partículas de solo.

Tipos de terreno	Velocidade (m/s)
Areia muito fina e limpa	0,2-0,3
Areia muito fina e solta	0,3-0,5
Areia grossa ou solo fino arenoso	0,5-0,6
Solos arenosos correntes	0,6-0,7
Limos arenosos	0,7-0,8
Limos, solos aluvionares, cinzas	0,8-0,9
Limos consistentes e limos	0,9-1,2
Argilas duras e saibros	1,2-1,5
Areões e godos	1,5-1,8
Conglomerados, xistos, cascões	1,8-2,5

Fonte: Silva (2004).

Tabela 6. Densidade dos sedimentos amostrados em cinco pontos de coleta no entorno do Açude Saco I, município de Serra Talhada, semiárido de Pernambuco.

Pontos/Prof. (cm)	Densidade do solo (g.cm⁻³)	Pontos/Prof. (cm)	Densidade do solo (g.cm⁻³)
P1 (0-1)	1,18	P3 (5-6)	1,08
P1 (1-2)	1,11	P3 (6-7)	1,20
P1 (2-3)	1,16	P3 (7-8)	1,20
P1 (3-4)	1,33	P3 (8-9)	1,20
P1 (4-5)	1,45	P3(9-10)	1,18
P1 (5-6)	1,44	P4 (0-1)	1,02
P1 (6-7)	1,47	P4 (1-2)	0,98
P1 (7-8)	1,39	P4 (2-3)	1,28
P1 (8-9)	1,26	P4 (3-4)	1,37
P1(9-10)	1,78	P4 (4-5)	1,27
P2 (0-1)	1,43	P4 (5-6)	0,97
P2 (1-2)	1,22	P4 (6-7)	1,28
P2 (2-3)	1,18	P4 (7-8)	1,39
P2 (3-4)	1,34	P4 (8-9)	1,18
P2 (4-5)	1,32	P4(9-10)	1,15

Com relação à granulometria da areia (Tabela 4), foi observado que em todos os pontos, o maior percentual se encontra representado como areia fina. Logo, a velocidade para que ocorra a erosão é minimizada, apresentando baixa destacabilidade e alta transportabilidade (Tabela 5).

Densidade do solo

Os resultados obtidos das densidades dos sedimentos (secos ao ar) das amostras indeformadas, determinadas de 1 em 1 cm, até 10 cm, estão apresentados na Tabela 6.

A densidade do solo (Ds) pode ser definida como a massa (ou peso) de uma unidade de volume do solo seco. Este volume incluirá tanto os sólidos como os poros (Brady, 1989). Segundo Reinert e Reichert (2006), os valores normais para solos arenosos variam de 1,2 g/cm³ a 1,9 g/cm³, enquanto que os solos argilosos apresentam valores mais baixos, de 0,90 g/cm³ a 1,7 g/cm³. Valores de densidade do solo (Ds) associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular situam-se em torno de 1,65 g/cm³ para solos arenosos, e 1,45 g/cm³ para solos argilosos.

P2 (5-6)	1,31	P5 (0-1)	1,07
P2 (6-7)	1,33	P5 (1-2)	1,16
P2 (7-8)	1,31	P5 (2-3)	1,08
P2 (8-9)	1,32	P5 (3-4)	1,13
P2(9-10)	1,39	P5 (4-5)	1,09
P3 (0-1)	1,37	P5 (5-6)	1,28
P3 (1-2)	1,10	P5 (6-7)	1,16
P3 (2-3)	1,18	P5 (7-8)	0,88
P3 (3-4)	1,15	P5 (8-9)	1,22
P3 (4-5)	0,85	P5(9-10)	1,21

Em geral, em todos os pontos de coleta, as densidades dos sedimentos, tenderam a aumentar com a profundidade. Segundo Brady (1989), a quantidade de matéria orgânica num solo exerce influência marcante na densidade do solo, o que justifica o fato dos horizontes superficiais dos solos, que, em geral, possuem maior quantidade de matéria orgânica que os subsuperficiais, possuem via de regra, a densidade mais reduzida que o subsolo.

O ponto P1 apresentou na camada até 10 cm, valores mais próximos dos intervalos de 1,20 g/cm³ a 1,90 g/cm³, característica de solos arenosos (Reinert e Reichert, 2006), enquanto que, os pontos P2, P3, P4 e P5 apresentaram valores mais próximos do intervalo de 0,90 g/cm³ a 1,70 g/cm³, característica de solos argilosos (Reinert e Reichert, 2006).

Considerando o crescimento radicular, no ponto P1 haveria restrições a partir dos 10 cm, devido a maior densidade, enquanto que nos outros pontos não haveria impedimentos até esta profundidade. Num manejo mais preciso do solo, informações referentes a limitações de desenvolvimento das culturas devem ser consideradas quando a área for utilizada para plantio, quando o açude baixa seu nível de água, após o período de chuvas. Áreas no entorno de açudes em região semiárida são bastante aproveitadas com agricultura, por causa da maior fertilidade do solo com o acúmulo dos sedimentos transportados e do período mais prolongado de permanência da água armazenada no solo, após as chuvas cessarem.

Conclusões

No mapa de uso e ocupação do solo foi observado que a agricultura temporária praticada na bacia de contribuição do açude ocupa 10% da área e o solo exposto ocupa cerca de 30% da área. Assim, a bacia possui 40 % de área com grande susceptibilidade a processos erosivos.

As declividades do terreno na área da bacia, correspondentes a uma classificação de relevo

ondulado a suave ondulado, associadas à forma alongada da bacia, favorecem o escoamento superficial e têm o potencial de promover a ocorrência de elevadas taxas de transporte de sedimentos.

Com relação à granulometria, as quantidades equilibradas de areia, silte e argila, encontradas nos sedimentos amostrados no entorno do Açude, sugerem uma baixa velocidade de movimento, minimizando o efeito do transporte.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco- FACEPE, pelos recursos do projeto de pesquisa e pela bolsa de doutorado, e ao CNPq, pela bolsa de produtividade. À equipe do Laboratório de Física do Solo, do Dep. Energia Nuclear-UFPE, pelo apoio na coleta e análises das amostras, e à mestra Camila de Sousa Lima, pela colaboração na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica.

Referências

- Araújo Filho, J. C.; Araújo, M. S. B.; Marques, F. A.; Lopes, H. L. Solos. In: Geodiversidade do Estado de Pernambuco, Torres, F.S.M.; Pfaltzgraff, P.A.S. (Organ), Serviço Geológico do Brasil CPRM, 2014.
- Beasley, R. P. 1972. Erosion and sediment pollution control. The Iowa State University Press. 1st edition.
- Bellinaso, T. B.; Paiva, J. B. D. 2007. Avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica semi-urbana de encosta. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 12, n. 14, p. 169-181.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. 1990. Conservação do solo. Editora Ícone, São Paulo.
- Brady, N. C. 1989. Natureza e Propriedades dos Solos. "The nature and properties of soils". 9^a Ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos.

- Calijuri, M. L. 1996. Sistemas de Informação Geográfica. Apostila do curso sobre sistemas de informação geográfica ministrado no programa de pós-graduação "Ciências da Engenharia Ambiental" na Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP).
- Carvalho, N O. 1994. Hidrossedimentologia prática. Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais - CPRM, Rio de Janeiro, RJ.
- CETESB. Amostragem do solo 6300. Projeto CETESB-GTZ, 1999. Disponível: http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/areas_contaminadas/anexos/download/6300.pdf. Acesso em: 23.09.11.
- Christofolletti, A. Geomorfologia, 1980. 2ª edição, Editora Edgard Blucher, São Paulo. 188 p.
- CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2006, 2007, 2008. Relatório de Monitoramento da Qualidade da Água de Reservatórios do Estado de Pernambuco.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2005. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Estado de Pernambuco- Diagnóstico do Município de Serra Talhada.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed., Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 212 p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Levantamento de baixa e média intensidade de solos do Estado de Pernambuco. Disponível em: http://www.cnps.embrapa.br/zapenet/mapalevantam_entoueprecife.htm. Acesso em: 15.05.2011.
- ESRI. 2008. ArcGIS-ArcMap 9.3 Help On Line. Redlands: ESRI.
- Ferreira, C. W. S.; Lima, C. de S.; Cavalcanti, L. C. de S.; Santos, A. H. de O. 2010. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Açude Saco I, no município de Serra Talhada-PE, Brasil. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, Anais, Recife.
- FUNDAJ. Fundação Joaquim Nabuco. Dados dos reservatórios do estado de Pernambuco Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/docs/tropico/desat/js120299.doc> Acesso em: 17.08.2009.
- Garcez, L. N.; Alvarez, G. A. 1988. Hidrologia. 2ª edição, Revista e Atualizada, Editora Edgard Blucher.
- GRH-UFBA. Grupo de Recursos Hídricos da Universidade Federal da Bahia. , 2005. Apostila de Hidrologia. Universidade Federal da Bahia. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Disponível em: [http://www.grh.ufba.br/download/2005.2/Apostila\(Cap2\).pdf](http://www.grh.ufba.br/download/2005.2/Apostila(Cap2).pdf). Acesso em: 27.04.2010.
- Guerra, J. T. et al. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.
- IM, J.; Jensen, J.R.; Jensen, J. R.; Jensen, R.R.; Gladden, J.; Waugh, J.; Serrato, M. 2012. Vegetation Cover Analysis of Hazardous Waste Sites in Utah and Arizona Using Hyperspectral Remote Sensing. Remote Sens., v. 4, n. 2, p. 327-353. Doi: 10.3390/rs4020327. ISSN 2072-4292.
- IPA. Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2008. Histórico do IPA, Serra Talhada, PE.
- ITEP/LAMEPE. Instituto Tecnológico de Pernambuco/Laboratório de Meteorologia de Pernambuco. Disponível em: <http://www.itep.br/LAMEPE.asp>. Acesso em: 11.08.11.
- Justice, C. O.; Vermote, E.; Townshend, J.; Defries, R.; Royle, J. A.; Hall, D.; Salomonson, V.; Privette, J. L.; Riggs, G. A.; Strahler, A. H.; Lucht, W.; Myneni, R. B.; Knyazikhin, Y.; Running, S.W.; Nemani, R. R.; Wan, Z.M.; Huete, A. R.; Leeuwen, W. J. D.; Wolfe, R. E.; Giglio, L.; Muller, J. P.; Lewis, P.; Barnsley, M. J. 1998. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 36, n. 4, p.1228-1247.
- Melo, R. O. M.; Cantalice, J. R. B.; Araújo, A. M.; Filho, M. C. 2008. Produção de sedimento suspenso de uma típica bacia hidrográfica semi-árida. Anais VIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Campo Grande-MS.
- Paiva, J. B. D.; Paiva, E. M C. D. 2003. Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. FINEP, ABRH, Porto Alegre.
- Reichardt, K., 1987. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole. 188p.
- Reinert, J. D.; Reichert, M. J. Propriedades Físicas do Solo. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais, 2006. Disponível em: http://w3.ufsm.br/fisica_e_genese/Graduacao/Fisica/Propriedades_fisicas_do_solo_I_semestre_2006.pdf. Acesso em: 19.12.2010.
- Rodrigues, J. E. 1982. Estudos de fenômenos erosivos acelerados- Boçorocas. Tese Doutorado. EESC-USP, São Carlos, SP.
- Scapin, J.; Paiva, J. B. D.; Belling, F. A. 2007. Avaliação de métodos de cálculo do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano. Revista

Brasileira de Recursos Hídricos, v. 12, n. 14, p. 05-21.

Shreve, R. L. 1996. Statistical law of stream numbers: *Journal of Geology*, v. 74, p. 17-37.

Silva, A. M.; Schulz, H. E. 2004; Camargo, P. B.. *Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas*. Ed. RIMA. 138 f.

Strahler, A. N. 1953. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, v. 63, p. 1117-1142.

Tonello, K. C. 2005. *Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG*. Dissertação de Mestrado, UFV.

Tucci, C. E. M. 2000. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 2ª edição, Editora da universidade (UFRGS)/ Edusp/ABRH, Porto Alegre, RS.

Valério, F. M. 1994. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas, pp. 223-242. In: Ferreira, M. E.; Cruz, M. C. P. Solos altamente suscetíveis à erosão, FCAV/UNESP, Jaboticabal, Soc. Bras. de Ciências do Solo.

Villela, S. M.; Mattos, A. 1975. *Hidrologia Aplicada*. Editora Mc Graw Hill, São Paulo, 245p.

Weirich Neto, P. H.; Rosa, A. L. T.; Gomes, J. A. 2002. Suscetibilidade de dois tipos de solo à compactação *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v. 6, n. , p. 349-353.

Zachar, D. 1982. *Soil Erosion. Developments in Soil Science*, v.10. Elsevier Scientific Publishing Company, Bratislava, Czechoslovakia.