

SUBSÍDIOS HIDROLÓGICOS E GEOTÉCNICOS PARA O DIAGNÓSTICO DE EROSÕES PLUVIAIS LINEARES EM ÁREAS URBANAS DA SAVANNAH BRASILEIRA

Campos, A. B.*
Marinho, G. V. **
Jawabri, J. F. **
Medeiros, C. M.**

INTRODUÇÃO

As áreas de Savannah no Brasil, conhecidas como *Cerrado*, tem sido rapidamente ocupadas por um intenso processo de urbanização nas últimas décadas. Esse processo tornou-se mais acentuado após a construção de Brasília na década de 60, capital federal do país, que possibilitou o surgimento de diversos núcleos urbanos nos estados da região Centro-Oeste (Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), onde se encontram áreas de *Cerrado*. Os núcleos urbanos recentes em sua maioria cresceram rapidamente, entretanto não tiveram um planejamento físico-territorial adequado o que tem gerado diversos desequilíbrios ambientais e graves problemas sociais e econômicos.

O estado de Goiás foi um dos estados que mais sofreu as consequências ambientais da intensa urbanização. Atualmente verifica-se em quase todas as cidades do estado problemas ambientais graves relacionados a degradação dos solos, dos recursos hídricos e da flora e fauna. Um destes problemas diz respeito ao crescente desenvolvimento de erosões pluviais lineares em áreas urbanas, especialmente naquelas cidades posicionadas em zonas com alta fragilidade geoambiental.

Este é o caso da cidade de Alexânia, escolhida para desenvolver este trabalho, a qual se localiza entre as cidades de Brasília e Goiânia no estado de Goiás sobre uma superfície aplainada limitada por fortes escarpas erosivas com declives de até 45° (Figura 1). A cidade abriga uma população de cerca de 10.000 habitantes e apresenta um alto índice de erosões lineares pluviais nas áreas periféricas posicionadas junto as escarpas, onde foram reconhecidas em trabalhos anteriores 129 feições erosivas incluindo ravinas e voçorocas (Cassetti et al., 1998; Campos et al., 1999).

Tendo em vista as diversas variáveis naturais e antrópicas que envolvem a ocorrência dos processos erosivos, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento hidrológico das águas superficiais em conjunto com as características geotécnicas, da dinâmica erosiva, do uso e impermeabilização dos solos urbanos, os quais auxiliam no desenvolvimento de um conjunto de 4 erosões associadas a duas microbacias urbanas (Figura 1).

Neste sentido, são apresentados os resultados alcançados no estudo relativos as características geotécnicas e da dinâmica dos processos erosivos, relativos as taxas de impermeabilização do solo urbano decorrentes da urbanização, e relativos ao regime hidrológico superficial concentrado associado a vazões geradas durante os episódios chuvosos. Os resultados foram adquiridos através da análise de fotografias aéreas em escala 1:3.200, análise de registros climáticos, cálculos hidrológicos, investigação de campo com medidas de direções de fluxos superficiais d'água, declives de ruas e características do uso do solo, elaboração de cadastro das erosões e perfis transversais, e realização de ensaios geotécnicos (caracterização e erodibilidade) dos diferentes materiais (solos e rochas) identificados na erosão 3 (Figuras 1 e 2).

Comportamento Geotécnico dos Solos e Rochas

De maneira geral as erosões apresentam características geotécnicas semelhantes quanto a distribuição dos solos e rochas amostrados para ensaios, mostrando perfis típicos com presença de lateritas no topo com espessura média entre 1 e 3 metros, e espessas camadas de mica-xistos na base com até 15 metros de espessura por vezes intercaladas por lentes ou finas camadas de quartzitos com espessura entre 0,5 a 2 metros (Figura 2).

Os ensaios geotécnicos de caracterização dos materiais (granulometria/sedimentação e massa específica dos grãos) realizados nos mica-xistos e quartzitos mostraram que os mica-xistos são predominantemente siltosos (57%), porosos (43%) e pouco permeáveis, enquanto as camadas de quartzito apresentam-se francamente arenosas (62%), pouco siltosas (26%) e muito pouco argilosas (4%), sendo bastante porosas (55%) e permeáveis.

* Professor do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais/Geografia da Universidade Federal de Goiás – e-mail: alfredo@iesa.ufg.br

** Alunos do curso de Geografia da Universidade Federal de Goiás - e-mail: gilbertovm@bol.com.br

Os ensaios de erodibilidade realizados (Pinhole e Enderbitzen), associados aos dados fornecidos pelos ensaios de caracterização, mostraram que as lateritas apresentam baixa erodibilidade, enquanto os quartzitos e mica-xistos são altamente erodíveis, o que favorece o desenvolvimento e aprofundamento das erosões após estas seccionarem a camada superior constituída pelas lateritas.

Análise da Dinâmica Erosiva

Os cadastros das erosões e os perfis transversais realizados permitiram distinguir uma tipologia de erosão (Figura 2). As erosões 1, 2, 3 e 4 apresentam dinâmica fortemente condicionada pela ação direta dos fluxos d'água superficiais associados as chuvas com alta intensidade frequentes na região (com registros pluviográficos de até 80mm e 1 hora) durante as estações primavera e verão, sendo ocasionalmente ligadas a fenômenos de pipping e fluxos hidrológicos subsuperficiais.

O comportamento erosivo decorrente da ação das águas superficiais durante as chuvas controla o rompimento e o recuo dos taludes das erosões, que ocorre a partir do escoamento concentrado das fortes enxurradas entre fissuras (trincas e rachaduras) presentes nas lateritas e camadas rochosas subjacentes, as quais promovem o entalhe, infiltração da água, saturação, instabilização e rompimento dos taludes. Quando presentes os fenômenos de pipping favorecem ainda mais a instabilização dos taludes, com posterior desmoronamento destes em decorrência dos dutos abertos no interior das rochas por ações erosivas internas associadas as águas drenadas pelo lençol freático que são interceptadas nos pontos de pipping.

A partir do comportamento das erosões analisadas foi proposto um modelo evolutivo, onde inicialmente as erosões são controladas pela ação do escoamento das águas superficiais com rompimento e recuo de taludes durante os episódios chuvosos, e posterior aprofundamento destas quando encontram materiais com alta erodibilidade. Nesta última fase, quando os materiais erodíveis estão associados a processos de pippings, passam também a serem controladas pela ação das águas subsuperficiais com ocorrência de instabilização e acentuado desmoronamento dos taludes ao longo do tempo acelerando o processo erosivo.

Análise do Regime Hidrológico Superficial

Face a grande influência do escoamento superficial das águas pluviais na dinâmica erosiva, este foi analisado em detalhe em associação com os fatores naturais e antrópicos que interferem na sua atual estruturação, quais sejam, a microbacia natural, o uso do solo urbano e a impermeabilização dos solos e superfícies edificadas.

A cidade de Alexânia possui 09 microbacias naturais urbanizadas dentre as quais duas foram analisadas neste estudo - microbacias I e II. O mapa em anexo (Figura 1) mostra a representação das duas microbacias limitadas por seus interflúvios, bem como as direções dos fluxos resultantes do escoamento superficial, os quais estão representados por setas e possibilitam o entendimento do comportamento dos fluxos d'água em ambas microbacias.

Associadas aos fluxos d'água superficiais presentes na microbacia I existem três erosões de grande porte, conforme indicadas na Figura 1. Sendo uma delas originada de deságües na rua 90 e as restantes originados em dois outros pontos de convergência encontrados no entroncamento da rua 92 e rua 40 e no final da rua 26. Ao passo que associado a fluxos d'água presentes na microbacia II há somente uma erosão, a qual está relacionada ao escoamento concentrado proveniente da rua 23, onde uma calha de captação lança quase toda a água pluvial coletada na microbacia na erosão 4 promovendo ainda mais sua evolução rápida.

O comportamento natural dos fluxos superficiais nas microbacias foi alterado devido a disposição do traçado urbano a partir do arruamento. Em um ambiente anterior a locação urbana certamente o escoamento superficial era mais difuso e distribuído em função das condições naturais favoráveis de infiltração, entretanto este foi alterado pela forma e inclinação das ruas edificadas sobre as vertentes possuindo atualmente novos eixos preferenciais de circulação e infiltração.

Conforme a inclinação das ruas, que variam de 1 a 3°, e em alguns casos de 4 a 5°, a concentração da água se dá em pontos preferenciais. Próximo as escarpas, a declividade do terreno no sentido SO-NE é mais acentuada, com declividade média de 3°, do que no sentido SE-NO, com declividade média de 1°, desta forma as ruas assentadas nas vertentes mais íngremes promovem a interceptação do fluxo de escoamento das ruas de menor inclinação acentuando ainda mais o acúmulo dos fluxos d'água nas ruas de maior declividade. Os fluxos d'água nas ruas de maior declividade convergem para as encostas desencadeando processos erosivos em pontos de maior susceptibilidade geotécnica à erosão hídrica lineares desprovidos de cobertura vegetal.

Em relação aos limites naturais das microbacias fornecidos por seus divisores naturais de água estes foram alterados pela malha urbana, como no caso das ruas 21 e 23 onde o terreno sobre a qual assentase a pavimentação da rua 21 sofreu um rebaixamento de até 80 cm em alguns pontos na faixa interfluvial em decorrência do arruamento e na rua 23 houve um rebaixamento natural decorrente da própria esculturação do relevo, que facilitaram uma transposição de águas da microbacia I para a II. Sendo assim, os rebaixamentos foram significativos para a ocorrência da transposição de fluxos pluviais, e demonstraram também a interferência das ações antrópicas no comportamento do regime hidrológico superficial redistribuindo os fluxos naturais.

Para o diagnóstico realizado com vista a subsidiar o disciplinamento dessas águas superficiais alguns cálculos de vazões foram elaborados, os quais permitiram dimensionar as quantidades de fluxos de água que escoam durante e após um episódio chuvoso. Para isso tomou-se parâmetros relativos aos aspectos físico-territoriais da área, como uso do solo e tipos de ocupação (Figura 1 e Tabelas 1 e 2).

Em relação ao uso do solo urbano nas microbacias I e II, esse é representado basicamente pela ocorrência de áreas residenciais e comerciais dispostas em quadras que geralmente possuem a dimensão de 160 x 65 metros. Para a espacialização da intensidade de ocupação na área, adotou-se o critério de classificar as quadras em alta, média e baixa ocupação, considerando-se o número de edificações existentes, que são: maior que 20, entre 10 e 19 e igual ou menor que 9 edificações, respectivamente. As edificações são representadas por residências de dimensões não muito divergentes, geralmente de pequeno a médio porte, ou seja de 3 a 5 cômodos, em lotes consideravelmente pequenos (20x30m), com muros comumente existentes em lotes na região central da cidade.

A população segue aproximadamente um esquema polarizador de distribuição social no espaço urbano nas áreas das microbacias próximas ao centro da cidade, onde são encontradas as residências das famílias de maior renda e as lojas comerciais, situadas nas quadras classificadas de alta ocupação. Geralmente as quadras de alta ocupação são as áreas historicamente mais antigas e evidenciam solos em quintais com maior compactação e/ou recobrimento do mesmo por cimentados, rodeado por muros que em alguns casos impedem a saída da água pluvial forçando-a a infiltrar em condições favoráveis a isso, e em outros casos, esse muro impede a difusão da água de um lote impermeabilizado para um eventual lote permeável auxiliando assim o escoamento para a rua.

Enquanto na periferia das microbacias, junto as áreas de ocorrência das erosões estudadas onde os problemas sócio-ambientais são mais explícitos, geralmente se evidencia uma população de menor poder aquisitivo. Nessas áreas é mais freqüente a presença de solo permeável, devido ao pouco tempo de estabelecimento da população no local e a própria condição financeira precária baixa do proprietário do lote que não possibilitam uma rápida impermeabilização por cimentação ou edificação do terreno.

Em relação ao uso do solo na microbacia I, esta possui uma área de 270.760 m² ou aproximadamente 27 ha e apresenta quadras de diferentes categorias de intensidade de ocupação estipuladas para a cidade (Figura 1). Enquanto a microbacia II possui área de 134.560 m² ou aproximadamente 13,4 ha também com distribuição particular. A classificação das áreas das quadras segundo a ocupação e percentual dessas áreas e de acordo com a área total das microbacias, são mostrados nas Tabelas 1 e 2.

De acordo com a Tabela 1, a microbacia I apresenta apenas 15% da área total com baixa ocupação, enquanto 31% apresenta média, 35% apresenta alta ocupação e 19% são ocupadas por arruamentos, tendo-se adotado em virtude disso coeficiente de correção (cs) com valor de 1,3 e coeficiente de escoamento superficial de 0,4 para o cálculo de vazões pelo Método Racional (TUCCI, 1995), e ainda tempo de recorrência de 10 anos com intensidades máximas de precipitação de 103,2 mm/h. Enquanto a microbacia II apresenta 46% de sua área total com baixa ocupação e 23% e 16% com média e alta ocupação e 15% são ocupados por arruamentos, tendo-se adotado coeficiente de correção (cs) com valor de 1,5 e coeficiente de escoamento superficial 0,4 para o cálculo de vazões segundo o mesmo método, e também tempo de recorrência de 10 anos e intensidade de precipitação de 166,4 mm/h.

Os valores de vazões de projeto obtidos a partir dos dados coletadas na microbacias foram então de 3,0 m³/s para a microbacia I e 2,44 m³/s para a microbacia II. Embora tais valores não reflitam diretamente as alterações no regime hidrológico em decorrência da urbanização, estes permitem estimar os valores de vazões que atualmente concentram-se em pontos específicos de convergência de águas pluviais na área que alojam as erosões, demonstrando uma nova organização da drenagem urbana associada aos tipos de uso do solo e arruamentos que passam a condicionar fortemente os processos erosivos durante os episódios chuvosos.

CONCLUSÕES

Com base nas duas microbacias analisadas conclui-se que o desenvolvimento da infra-estrutura urbana na cidade de Alexânia-GO provocou algumas mudanças significativas no sistema físico natural da cidade, redirecionando fluxos superficiais para áreas com ocorrências de erosões lineares próximas as encostas, devido a disposição das ruas e as taxas de impermeabilização decorrentes do uso diferenciado do solo.

As áreas que antes da consolidação da infra-estrutura urbana possuía um sistema natural de distribuição da água pluvial, agora devido ao estabelecimento de ruas e edificações altera esse sistema e gera uma nova dinâmica de distribuição das águas superficiais. Os terrenos vão sendo ocupados por casas, lojas, ruas pavimentadas, calçadas, etc. sem qualquer planificação de uso do solo, que possibilite utilizar esse mesmo terreno de forma racional e preventiva para alguns problemas sócio-ambientais. A retirada da cobertura vegetal com posterior impermeabilização e até mesmo compactação dos terrenos, impede a infiltração da água das chuvas, que são canalizados pelos arruamentos.

Muitas vezes os disciplinamentos das águas pluviais não são estruturados ou planejados nos chamados pontos de convergência, que são os pontos de menor altitude em que os fluxos pluviométricos são escoados conforme a disposição do traçado das ruas em forma de "tabuleiro de xadrez" e incidem sobre as erosões e bordas da microbacias ocasionando o aceleração dos processos erosivos.

Os resultados alcançados permitem ainda uma generalização do diagnóstico realizado neste estudo para áreas urbanizadas localizadas em nos topos palnos de chapadas da Savannah Brasileira, onde as altas intensidades pluviométricas aliadas a um escoamento superficial das águas de chuva sem controle adequado, podem desencadear fortes processos erosivos quando incidem sobre materiais geotécnicos com alta erodibilidade posicionados nas bordas das chapadas urbanizadas junto a escarpas. Tal fato tem sido verificado em outras cidades do Centro-Oeste como Brasília no Distrito Federal e Anápolis em Goiás.

Tabela 1 - Tipo de ocupação, área e percentual das áreas ocupadas de acordo com área total da microbacia I.

Tipo de ocupação	Área ocupada (m) ²	% em relação microbacia
Alta ocupação	93.600	35
Média ocupação	83.200	31
Baixa ocupação	41.600	15
Arruamentos	53.360	19

Fonte: fotografias aéreas da cidade de Alexânia-GO, 1997.

Tabela 2 - Tipo de ocupação, área e percentual das áreas ocupadas de acordo com área total da microbacia II.

Tipo de ocupação	Área ocupada (m) ²	% em relação microbacia
Alta ocupação	20.800	16
Média ocupação	31.200	23
Baixa ocupação	62.400	46
Arruamentos	20.160	15

Fonte: fotografias aéreas da cidade de Alexânia, 1997.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, A.B. et al. *Diagnóstico e Controle de Feições Erosivas Lineares em Bordas de Chapadas Urbanizadas de Goiás - O Caso da "Erosão do Zequinha" em Alexânia*. Belo Horizonte: VIII simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Universidade Federal de Minas Gerais, p.84-85,1999, Brasil.
- CASSETI, V. et al. *Estudos de Erosões Lineares em Áreas Urbanas e Periurbanas: uma proposta metodológica para o município de Alexânia/GO*. Florianópolis: Revista GEOSUL, 14:27:138-141, 1998, Brasil.