

# MAPA GEOTÉCNICO DE POTENCIAL EROSIVO DE UMA ÁREA DE EXPANSÃO URBANA DE TUBARÃO - SC

*Marcelo Heidemann*

Mestre em engenharia civil (geotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2011). Professor assistente na Universidade Federal de Santa Catarina; Doutorando em engenharia civil (geotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabalha atualmente no Centro de Engenharia de Mobilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia, atuando principalmente nos seguintes temas: estabilidade de encostas e taludes e comportamento de solos tropicais.  
E-mail: <marcelo.heidemann@gmail.com>.

## RESUMO

O município de Tubarão – SC tem sofrido uma considerável expansão de sua mancha urbana. Esta expansão tem-se dado em muitas áreas de encostas, de solo residual e coluvionar. A ocupação destas áreas é problemática, não apenas pelo risco de instabilização e deslizamentos, mas também pela deflagração de processos erosivos nos solos expostos. Neste sentido, o presente trabalho apresenta os resultados de um mapeamento geotécnico com vistas ao potencial erosivo dos solos, realizado em uma área de expansão urbana do município. O mapeamento foi realizado tendo como base o conceito de unidades geotécnicas, a partir do cruzamento de mapas geológicos e pedológicos, pré-existentes. Para estimativa do potencial erosivo dos solos foram realizados ensaios Inderbitzen Modificado e Infiltrabilidade e Perda de Massa por Imersão, propostos pela metodologia MCT, em amostras indeformadas. Os dados obtidos foram inseridos em um banco de dados vinculado a um sistema de informações geotécnicas (SIG). Os resultados mostraram a alta susceptibilidade à erosão em praticamente toda a área de estudo, que já apresenta a ocorrência do processo de forma acelerada em vários pontos. A geração destas informações é importante porque pode contribuir para a gestão do crescimento do município, de forma que esse processo possa se dar de maneira ordenada e tecnicamente adequada, assim como melhorar o entendimento acerca do comportamento geotécnico dos solos estudados.

**Palavras-chave:** Mapeamento geotécnico, Erosão, Solo residual.

## INTRODUÇÃO

O município de Tubarão – SC, assim como boa parte das cidades brasileiras passa por uma considerável expansão de sua mancha urbana. Como resultado, muitas áreas de encostas vem sendo ocupadas sem que sejam observadas condições mínimas de segurança às edificações e ao meio ambiente. Assim, é possível verificar inú-

meras evidências de processos erosivos nos solos residuais e coluvionares que ocorrem na área, fortemente associados à ação humana.

A ocorrência de erosão é mais facilmente desencadeada em áreas localizadas em elevações, onde a retirada da cobertura vegetal e a movimentação dos solos acaba por reduzir a coesão, e

em alguns casos a capacidade de infiltração, aumentando assim o escoamento superficial, mecanismo condicionador de processos erosivos.

O assoreamento dos cursos d'água e reservatórios, dentro da área urbana ou nas suas periferias, e a destruição ou entupimento da rede de galerias, agravam ainda mais os problemas causados pela erosão, pela indução de enchentes, concentração de poluentes e perda de capacidade de armazenamento d'água dos reservatórios de abastecimento público (Salomão & Iwasa, 1995).

Neste sentido, o presente trabalho apresenta os resultados obtidos no mapeamento geotécnico com ênfase na susceptibilidade à erosão de uma área de expansão do município de Tubarão. O potencial erosivo destes solos foi mensurado com a utilização de ensaios de Perda de Massa por Imersão Modificado e Infiltrabilidade, bem como ensaios tipo Inderbitzen Modificado.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

O município de Tubarão fica localizado na Região Sul de Santa Catarina. Seu território compõe-se de uma planície sedimentar de formação recente composta principalmente por argilas moles (Solos Orgânicos e Gleis), onde as elevações existentes correspondem a rochedos ilhados. Nestas áreas de elevações ocorrem solos do tipo Cambissolos e Podzólicos Vermelho-Amarelos originados de rochas graníticas.

A área estudada localiza-se num vetor de expansão urbana localizado ao norte do centro da cidade, conforme apresentado na figura 1. A figura 2 apresenta um modelo digital do terreno.

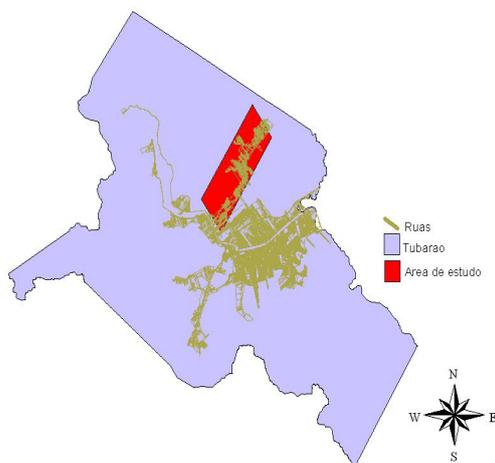


Figura 1. Localização da área de estudo.

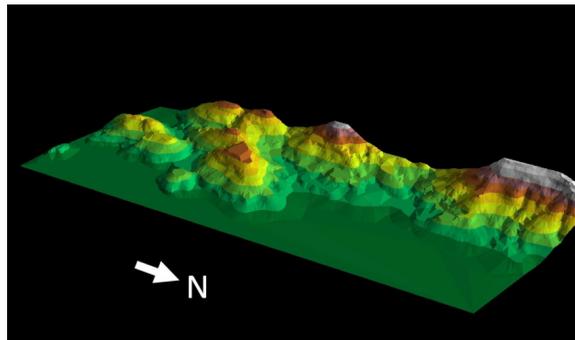


Figura 2. Modelo digital do terreno da área de estudos.

Enquanto que ao leste tem-se uma planície sedimentar ocupada pelo cultivo de arroz irrigado, ao oeste existem elevações ocupadas por pastagens e vegetação nativa. O desenvolvimento deste vetor de crescimento teve início na zona de transição entre as elevações e a porção plana, onde a rodovia SC 370 tem seu traçado, tendo servido como eixo para o processo de ocupação. Atualmente a urbanização se estende tanto para as cotas mais elevadas, quanto em direção a área plana.

As cotas menos elevadas apontam para aproximadamente 9 metros acima do nível do mar. O ponto culminante da área de estudos localiza-se na porção norte desta e apresenta cota de aproximadamente 360 metros.

## METODOLOGIA

### COLETA DE AMOSTRAS.

Os solos foram estudados por meio de ensaios de laboratório executados em amostras indeformadas. Estas amostras foram coletadas no horizonte C dos solos residuais de granito, em pontos definidos previamente com base em um mapa geotécnico preliminar construído conforme metodologia proposta por Davison Dias (1995).

Na área compreendida por estas unidades geotécnicas foram fixados pontos de estudo. Além de buscar dar representatividade à unidade buscou-se, identificar possíveis heterogeneidades dos solos compreendidos por uma mesma unidade. A figura 3 apresenta o mapa geotécnico preliminar e a localização dos oito pontos de estudo que compreendem este trabalho.

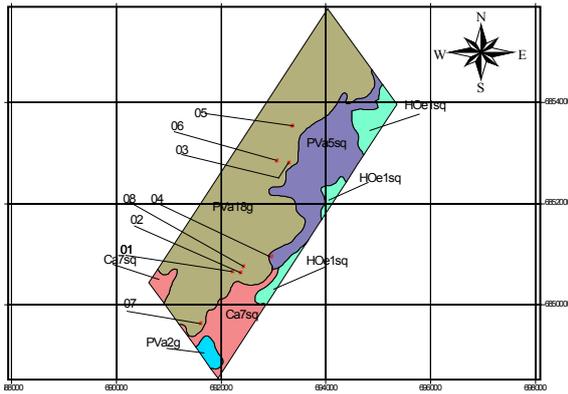


Figura 3. Mapa geotécnico com a localização dos pontos de estudo (números) na área de estudo.

## ENSAIOS DE LABORATÓRIO

A estimativa do potencial erosivo destes solos se deu através do critério de erodibilidade MCT (ensaios de Perda de Massa por Imersão modificado e Infiltrabilidade), proposto por Nogami e Villibor, 1979, bem como ensaios tipo Inderbitzen Modificado (Freire, 2001).

O ensaio de infiltrabilidade foi realizado conforme esquema da figura 4, onde uma amostra de solo é submetida a infiltração de água sob fluxo capilar, em sentido ascendente.

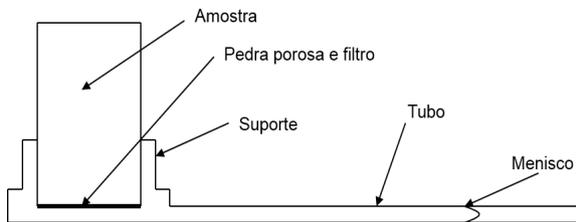


Figura 4. Ensaio de infiltrabilidade.

O volume infiltrado é medido por meio do deslocamento da água no tubo. O coeficiente de sorção "s" é dado pela equação 1. As medidas de deslocamento e tempo são tomadas no seguimento linear do gráfico onde são plotadas as leituras do ensaio. O termo S corresponde a área da seção do tubo e A é a área da seção da amostra.

$s = \frac{(D_2 - D_1) \cdot S}{(\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}) \cdot A}$	Equação 1
---	-----------

O ensaio de Perda de Massa por Imersão Modificado consiste em imergir a amostra de solo contida em um molde, de forma que uma de suas faces esteja sujeita a ação da água. Após 20 horas de imersão determina-se a porcentagem de massa erodida, denominada parâmetro "pi". A

modificação deste ensaio consiste na superfície exposta à ação da água, que neste caso é coincidente com o molde. No ensaio original a amostra apresenta uma saliência que se projeta para o exterior do molde.

Os ensaios do critério MCT foram executados em quatro amostras, sendo uma em teor de umidade natural, e as demais secas ao ar por 24, 48 e 72 horas.

O potencial erosivo é dado pela razão pi/s. Assim, segundo Nogami e Villibor (1979), solos que apresentam  $pi/s > 52$  devem ser considerados com alto potencial erosivo, enquanto que Pejon (1992) propôs como limite para critério de erodibilidade  $pi/s > 40$ .

A metodologia apresentada por Freire (2001) sugere a utilização do equipamento de Inderbitzen, porém, com algumas modificações. No ensaio modificado, a amostra de solo é submetida ao chuveiramento, que simula o choque das gotas de chuva sobre o solo, provocando o desprendimento das partículas.

O solo erodido é seco e pesado e o percentual erodido determina o potencial erosivo do solo. A metodologia sugere que sejam considerados solos erosivos aqueles que apresentam perda de massa superior a 5,0% durante o ensaio.

Neste trabalho a vazão de água utilizada variou entre 80 e 180 ml/min, sendo este o intervalo no qual é possível a geração de gotejamento. Para os ensaios de Inderbitzen Modificado foram utilizadas duas amostras em teor de umidade natural e duas secas ao ar durante 24 horas. Para cada condição de umidade foram realizados ensaios com duração de 1 hora e 2 horas (tempo de chuveiramento).

Com a quantificação do potencial erosivo dos solos através dos ensaios, as unidades geotécnicas foram classificadas em termos de erodibilidade e criou-se o mapa geotécnico de susceptibilidade a erosão.

## RESULTADOS

### CARACTERIZAÇÃO FÍSICA.

A tabela 1 apresenta um resumo da caracterização física dos solos estudados enquanto que a tabela 2 apresenta a composição granulométrica destes materiais.

Com exceção dos solos dos pontos 5 e 6, todos apresentam quantidades superiores a 30% de argila e silte em sua composição. Em sua maior parte são solos jovens e o horizonte C traz muitas feições da rocha de origem, o que em muitos casos tornou a coleta de amostras indeformadas bastante difícil.

### CRITÉRIO MCT.

A tabela 3 e a figura 5 apresentam os dados obtidos nos ensaios do critério MCT.

Observa-se que segundo o critério MCT praticamente todas as amostras apresentaram alta erodibilidade, com valores de  $pi/s$  bastante superiores aos limites definidos por Nogami e Villibor (1979) e Pejon (1992).

Os solos em quase sua totalidade apresentaram comportamento erosivo. As amostras do ponto 6 apresentaram uma considerável resistência a erosão, e em relação as demais amostras tiveram baixa perda de massa durante os ensaios de perda de massa por imersão, não deixando, no entanto, de ser classificada como erosiva.

Tabela 1. Caracterização física dos solos estudados.

Ponto	Unidade geotécnica	G	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	e	wL	IP
1	PVa18g	2,568	18,4	0,78	40,16	8,06
2	PVa18g	2,550	15,8	1,03	39,83	5,73
3	PVa18g	2,575	16,9	0,76	28,57	8,97
4	PVa5sq	2,600	15,4	0,91	33,04	4,14
5	PVa18g	2,578	16,6	0,75	31,91	3,11
6	PVa18g	2,569	16,3	0,69	29,27	4,47
7	PVa18g	2,551	14,1	0,97	34,41	2,71
8	PVa18g	2,607	19,4	0,46	21,25	3,75

Tabela 2. Composição granulométrica dos solos estudados.

Ponto	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
1	0,1	0,5	20,3	28,5	20,8	29,9
2	0,2	2,1	18,7	29,5	17,4	32,1
3	6,4	12,8	15,2	18,6	16,2	30,8
4	1,1	9,4	30,6	24,5	15,4	19,1
5	2,6	23,0	24,1	21,5	14,7	13,9
6	0,5	20,4	33,4	22,0	8,0	15,8
7	4,1	21,3	27,4	16,8	13,4	17,1
8	1,7	6,8	30,3	30,0	4,5	26,7

Tabela 3. Critério de erodibilidade MCT ( $pi/s$ ).

Ponto	Tempo de secagem (h)			
	0	24	48	72
1	400,86	667,21	711,73	464,30
2	16,53	238,36	265,33	149,50
3	410,16	53,16	46,96	308,62
4	108,30	110,78	145,34	74,51
5	43,83	16,63	68,16	82,59
6	12,12	80,43	52,56	64,85
7	26,24	137,14	54,55	61,73
8	84,80	201,50	186,87	227,48

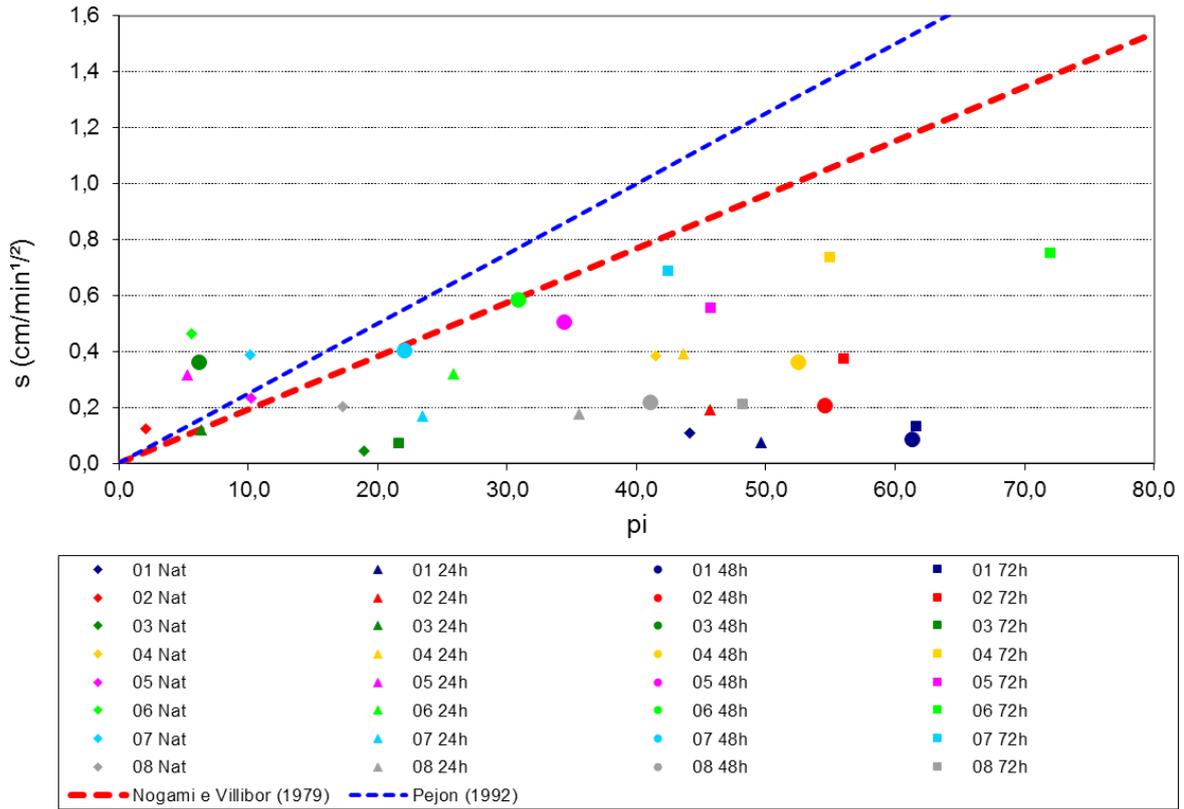


Figura 5. Resultados dos ensaios do critério MCT e critérios utilizados na pesquisa.

As amostras do ponto 1, e de forma mais branda dos pontos 2, 3 e 8 apresentaram potencial erosivo muito alto. As ocorrências de erosão verificadas *in situ*, conforme figura 6, confirmam esta condição.



Figura 6. Ocorrências de erosão na área estudada.

É visível também a influência da secagem das amostras no aumento do potencial erosivo. Com a secagem do solo ocorre uma redução da sucção e retração da amostra. Isto provoca o trincamento da estrutura, que acaba por tornar a amostra mais frágil à imersão e com menor potencial de infiltração por capilaridade.

No entanto para as amostras do ponto 3 esta condição não ocorre. É possível que esta discrepância seja oriunda da heterogeneidade dos materiais estudados, e que a amostra ensaiada em teor de umidade natural tenha apresentado uma composição e estrutura diferente das demais.

Os solos com potencial erosivo superior a 100% do valor limite foram caracterizados como muito erosivos e aqueles que apresentam valores superiores a até 100% do critério, são caracterizados como erosivos.

Com relação aos valores de critério de erodibilidade, o gráfico da figura 5 mostra que apenas para a amostra do ponto 5, ensaiada em umidade natural, obteve-se um valor intermediário, localizado entre  $pi/s=40$  e  $pi/s=52$ . Assim, para esta pesquisa a adoção do critério de Nogami e Villibor (1979) ou de Pejon (1992) não modificaria de forma relevante os resultados obtidos.

## INDERBITZEN MODIFICADO.

A tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de Inderbitzen Modificado, em termos de percentual de perda de massa.

Tabela 4. Resultados do ensaio de Inderbitzen Modificado (perda de massa).

Ponto	Condição do Ensaio			
	Natural 1h	Natural 2h	Seco 1h	Seco 2h
1	6,09%	25,94%	9,47%	4,40%
2	5,59%	2,70%	64,60%	68,00%
3	3,01%	4,64%	11,25%	22,20%
4	80,96%	74,78%	27,47%	76,73%
5	2,55%	5,66%	4,59%	3,41%
6	6,59%	9,17%	4,55%	34,92%
7	9,56%	18,94%	17,58%	33,06%
8	6,44%	4,58%	10,47%	87,99%

De forma geral todos os solos apresentaram-se erosivos, com destaque para o ponto 4, com valores bastante altos de perda de massa. Por outro lado, os solos do ponto 5 apresentaram baixo potencial erosivo, sendo classificados como não erosivos.

Nas amostras 2, 4 e 8 ensaiadas em teor de umidade natural e 1 e 5 secas durante uma hora, verificou-se que um chuveiramento mais longo resultou em um valor ligeiramente menor de perda de massa. Tal ocorrência pode ser atribuída à alta variabilidade da estrutura dos solos, mesmo que coletados em um mesmo ponto de ensaio. Observa-se ainda que a secagem das amostras e o prolongamento do ensaio resultam em maior perda de massa.

Durante os ensaios verificou-se que inicialmente há o desprendimento de partículas finas que compõe a matriz do solo. Como consequência a porção granular contida na matriz é exposta

também, e acaba erodindo. As amostras quando secas apresentam uma retração, que resulta numa degradação maior.

Observou-se que a perda de massa no ensaio de Inderbitzen está fortemente ligada à coesão da matriz argilosa. Em ensaios mais longos, além do próprio aumento da energia aplicada pela água sobre o solo, há uma redução da sucção favorecendo o desprendimento de partículas que dá início a erosão.

## MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.

Com base nos resultados dos ensaios foi realizada a classificação dos pontos de estudo quanto ao seu potencial erosivo. A tabela 5 apresenta esta classificação.

Tabela 5. Potencial erosivo dos pontos de estudo.

Ponto	MCT	Inderbitzen Modificado	Potencial Erosivo
01	Muito erosivo	Erosivo	Alto
02	Muito erosivo	Muito erosivo	Muito alto
03	Muito Erosivo	Erosivo	Alto
04	Erosivo	Muito erosivo	Alto
05	Erosivo	Não erosivo	Baixo
06	Erosivo	Erosivo	Médio
07	Erosivo	Erosivo	Médio
08	Muito erosivo	Muito erosivo	Muito alto

A partir dos pontos de estudo as unidades geotécnicas foram então qualificadas, em função do potencial erosivo.

Embora o mapa geotécnico preliminar apresente cinco unidades geotécnicas, apenas duas foram estudadas, em função da natureza do solo e da representatividade na área.

Foram contempladas as unidades com ocorrência de elevações formadas por solos residuais e coluvionares, o que excluiu a porção sedimen-

tar do mapeamento, correspondente a unidade HOe1sq. A unidade Ca7sq encontra-se urbanizada, não sendo possível a definição de pontos de estudo nesta área. A unidade PVa2g não foi contemplada pela pequena representatividade.

Assim, devido à grande representatividade, sete dos oito pontos estão localizados na unidade PVa18g e um deles na unidade PVa5sq.

O mapa geotécnico de estimativa de potencial erosivo é apresentado na figura 7.

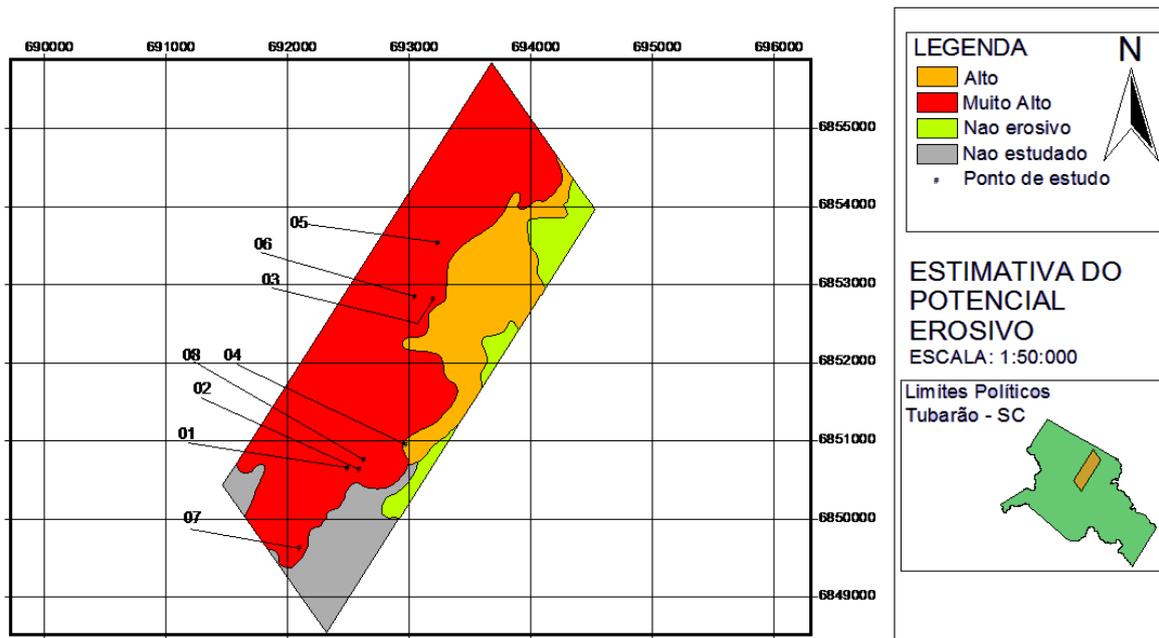


Figura 7. Mapa geotécnico de susceptibilidade à erosão.

Conforme resultados dos ensaios, a unidade PVa18g, composta por solos podzólicos vermelho-amarelo e alguns cambissolos residuais de granito, apresenta potencial erosivo muito alto. Embora haja pontos de estudo que revelaram um moderado potencial erosivo, a condição de alta susceptibilidade prevaleceu e motivou a generalização desta condição para toda a unidade. Uma divisão desta unidade em termos de potencial erosivo pode futuramente ser realizada, com a execução de ensaios em um número maior de pontos.

A unidade PVa5sq refere-se a depósitos coluvionares, e apresenta potencial erosivo alto. São menos susceptíveis à erosão pela alta permeabilidade, que reduz o fluxo laminar e o consequente transporte de sedimentos, embora haja o desprendimento das partículas de solo.

Os solos moles saturados, da parte plana, utilizados pela rizicultura, são classificados como não erosivos, já que se encontram na porção mais baixa do terreno, caracterizando-se atualmente como uma área de deposição dos sedimentos erodidos das elevações.

## CONCLUSÕES

A presente pesquisa mostrou a validade dos ensaios geotécnicos utilizados na estimativa do potencial erosivo dos solos. A utilização de duas metodologias possibilitou a verificação do comportamento dos solos diante de distintas situações desencadeadores de erosão.

Observou-se que, apesar das amostras de solos terem sido coletadas sempre de horizontes C de cambissolos e podzólicos Vermelho-Amarelos, há uma significativa heterogeneidade de comportamento frente à erosão dos solos encontrados na localidade.

Diversos processos erosivos puderam ser observados na área, a maioria deles em razão da retirada da cobertura vegetal e movimentação do solo para implantação de novos loteamentos.

A unidade Pva18g que compreende a maior porção da área estudada apresentou elevado potencial erosivo. Sendo essa a área que vem sendo

mais densamente ocupada, torna-se imperativa a necessidade de maior atenção ao processo de ocupação, a fim de que a urbanização se faça de forma sustentável em termos ambientais e sociais.

## REFERÊNCIAS

- Davison-Dias, R. (1995). Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, 51-55.
- Freire, E. P. (2001). Ensaio Inderbitzen Modificado: um Novo Modelo para Avaliação do Grau de Erodibilidade do Solo. In *VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão*. Goiânia, GO, Meio Digital.
- Nogami, J. S., Villibor, D. F. (1979). Soil Characterization of Mapping Units for Highway Purposes in Tropical Areas. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, Krefeld, 19, 196-199.
- Pejon, O. L. (1992). *Mapeamento Geotécnico de Piracicaba. 1:100.000: Estudo de Aspectos Metodológicos de Caracterização e de Apresentação dos Atributos* (Doctoral dissertation). EESC/USP, São Carlos.
- Salomão, F.X.T., Iwasa, O.Y. (1995). Erosão e Ocupação Rural e Urbana. In *Curso De Geologia Aplicada Ao Meio Ambiente*. ABGE/IPT – DIGEO, 1995, 31-57.

## ABSTRACT

Tubarão town has been subjected to a considerable expansion of its urban area. This expansion occurs in many areas of slopes, in colluvial and residual soils. The occupation of these areas is problematic, not only for the risk of landslides, but also by the susceptibility of erosion on exposed soils. In this sense, this work presents the results of a geotechnical mapping with a view to the erosion potential of soils, conducted in an area of urban expansion in this town. Mapping was conducted based on the concept of geotechnical units, from the intersection of geological and pedological maps. Modified Inderbitzen, infiltrability and loss of mass under immersion tests were carried out in undisturbed soil specimens to estimate the erosion potential of soils. These data were entered into a database linked to a geotechnical information system (GIS). The results showed a high susceptibility to erosion in almost whole area of study, confirmed by evidences of erosion in various points of the area. Generating this information is important because it can contribute to the management of city's growth, so that this process can take place in an orderly and technically adequate way, as well as improve the understanding of geotechnical behavior of studied soils.

**keywords:** Geotechnical mapping, Erosion, Residual soil.