



## Estudo da recuperação de áreas degradadas por erosão no Município de Franca, São Paulo, Brasil

### Reclamation study of degraded lands by erosion process: Franca, São Paulo, Brazil

Rotta, Cláudia Marisse dos Santos ✉ - Zuquette, Lázaro Valentin

Recibido: 26 de Julio de 2012 • Aceptado: 19 de Noviembre de 2012

#### Resumen

*El presente trabajo aborda el estudio realizado en siete espacios degradados por procesos de erosión, en el municipio de Franca, departamento de São Paulo, Brasil, los quais fueron recuperados por la adopción de medidas diferentes. Su desarrollo siguió una serie de pasos, como la identificación de álos espacios degradados, seguidas por la evaluación temporal y espacial del proceso erosivo y caracterización geológica y geotécnica. En secuencia, se llevaron a cabo trabajo de campo, con el objetivo principal para identificar las medidas de recuperación empleadass en cada espacio y también para evaluar su resultado. Finalmente, se realizó un análisis conjunto de toda la información obtenida, tratando de evaluar las técnicas utilizadas, así como su eficiencia. Se puede concluir a través de este trabajo que, a pesar de la mejora en escenarios de degradación evaluados, varios problemas se asociaron con las técnicas de recuperación, siendo consecuente de la no consideración de las informaciones geológica, geotécnica, y ambiental, incluso las sociales.*

**Palavras claves:** *Espacios degradados, Erosion, medidas de recuperación, Franca (SP), Brasil.*

#### Abstract

*The present work deals with the study carried out in seven degraded areas by erosion processes, in the municipality of Franca, São Paulo State, Brazil; that were rehabilitated by adopting of different measures. Its development followed a series of steps: identification of degraded areas, followed by the temporal and spatial evaluation of erosive process, and geological-geotechnical characterization. In sequence, were carried out field work, with the main objective to identify the rehabilitation measures used in each area, and also to evaluate its performance. Finally, it was held a joint analysis of all information obtained to evaluate the appropriateness of the techniques used, as well as their efficiency. It can be concluded through this work that, despite the improvement in degradation scenarios assessed, several problems were associated with rehabilitation measures and mainly due to non-consideration of geological, geotechnical, environmental information and even social.*

**Keywords:** *Land Degradation, Erosion, rehabilitation measures, Franca (SP), Brasil.*

✉ claudia.rotta@usp.br

## Resumo

O presente trabalho trata do estudo realizado em sete áreas degradadas por processos erosivos, no município de Franca, Estado de São Paulo, Brasil; que foram recuperadas através da adoção diferentes medidas. Seu desenvolvimento seguiu uma série de etapas, sendo a primeira a identificação das áreas degradadas, seguida da avaliação temporal e espacial do processo erosivo, e da caracterização geológico-geotécnica. Em sequência, foram realizados trabalhos de campo, com o objetivo principal de identificar as medidas de recuperação implantadas em cada área, e também de avaliar seu desempenho. Finalmente, foi realizada uma análise conjunta de todas as informações obtidas, buscando-se avaliar a adequação das técnicas utilizadas, assim como sua eficiência. Pode-se concluir através desse trabalho que, apesar da melhora nos cenários de degradação avaliados, vários problemas ocorreram associados às técnicas de recuperação, sendo estes consequentes da não consideração de informações geológicas, geotécnicas, ambientais e até mesmo sociais.

**Palavras-chave:** Área degradada, Erosão, Recuperação de erosão, Franca - São Paulo.

## INTRODUÇÃO

A aceleração dos processos naturais devido à ação antrópica no meio ambiente pode, muitas vezes, resultar em situações de degradação, envolvendo sérios prejuízos ambientais e econômicos. Apesar da abrangência do termo degradação, esta pode ser empregada quando se ocorre o declínio de qualquer componente ambiental, seja solo, água ou relevo, entre outros; sendo que um dos fenômenos naturais que, quando acelerado, altera a dinâmica desses aspectos é a erosão, bastante frequentes no Brasil, tanto em áreas urbanas quanto rurais.

Existem inúmeros procedimentos utilizados para recuperar áreas degradadas por erosão, porém, muitas vezes, estes são aplicados sem alcançar os resultados desejáveis, envolvendo altos custos. Nesse contexto, justifica-se a importância de estudos sobre métodos de prevenção, mitigação, controle e recuperação de áreas erodidas, desenvolvidos tanto por autores internacionais, quanto brasileiros. Dentre estes, podem ser citados os trabalhos de Ayres (1936), Morgan (1994, 1995), Lal (1990), Zachar (1982), Fao (1986), DAEE (1989), Bertoni e Lombardi Neto (1993), Bidone e Tucci (1995), Salomão e Iwasa (1995), Fendrich (1997a, b), Tragsa et al (1998), Ridente Jr. (1999), Souza (2001), Orea (2004).

De acordo com a bibliografia existente sobre o tema, as medidas de recuperação de áreas erodidas podem ser diferenciadas tanto pelo objetivo pretendido com sua aplicação, quanto pelo tipo, sendo que este varia entre mecânicas, ecológicas, estruturais, agrícolas e de bioengenharia. Algumas das técnicas mais comuns e mais frequentes foram selecionadas e listadas na Tabela 1, evidenciando essa diferenciação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento desse trabalho envolveu uma série de etapas, esquematizadas no fluxograma da Figura 1. Para isso, foram empregados materiais como mapa topográfico na escala de 1:12.500, imagens de satélite, fotografias aéreas de diferentes anos e em diferentes escalas, o software AutoCAD Map, e outros equipamentos de laboratório.

A primeira etapa contou com a identificação de sete áreas degradadas pelos processos erosivos que sofreram processos de recuperação, controle ou prevenção de erosão; sendo que, em seguida, essas áreas foram localizadas no mapa topográfico. A partir das imagens de satélite e de fotografia aérea, de diferentes períodos, realizou-se uma análise temporal do uso e ocupação, dos processos erosivos e mesmo das medidas de recuperação,

possibilitando a realização de uma avaliação preliminar desses aspectos.

A próxima etapa envolveu a caracterização geológico-geotécnica dos materiais geológicos, considerando-se aspectos como distribuição espacial, tipos e textura; e também dos aspectos geomorfológicos gerais de cada área. Foi feito também um levantamento de trabalhos prévios existentes na área.

Em seguida foram realizados os trabalhos de campo, com o objetivo de realizar a caracterização geológico-geotécnica em termos de propriedades relacionadas à erodibilidade e as morfométricas específicas de cada área, e de cada feição. Também foram realizadas atividades no sentido de avaliar a eficiência das medidas implantadas, considerando-se alguns aspectos pré-definidos.

Por fim, considerando-se as condições para implantação de cada medida de recuperação adotada foi desenvolvida uma análise, com o objetivo de avaliar o seu sucesso ou fracasso, tal qual a sua adequação.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As áreas estudadas são pertencentes ao Município de Franca - SP, Brasil (Figura 2), sendo todas na área urbana. A região encontra-se no interior da zona geomorfológica denominada de Planalto Isolado de Franca, e apresenta altitudes variando entre 800 e 1010 metros, e clima do tipo A, segundo a classificação de Koepfen (1948), ou seja, apresenta temperaturas médias em torno de 24°C e pluviosidade anual superior a 1300 mm.

A região tem como substrato rochoso litologias das Formações Itaqueri (arenitos, argilitos e siltitos); e Botucatu (arenito). Essas litologias são recobertas por materiais inconsolidados residuais e transportados com textura predominantemente arenosa (que normalmente ocupam a metade superior das encostas e topos). As feições ocorrem predominantemente no limite entre os materiais inconsolidados retrabalhados arenosos e os residuais arenosos relacionados as litologias da Formação Itaqueri.

## RESULTADOS

### Processos Erosivos

De acordo com Zuquette et al. (1994), o processo erosivo existente na região ocorre sob a forma de inúmeras feições erosivas, que vão desde voçorocas à pequenos ravinaamentos. No caso das sete áreas estudadas nesse trabalho, foi observada a presença de voçorocas associadas à cabeceira de canais de drenagem de primeira ordem, cujo desenvolvimento foi resultado da

Tabela 1. Medidas para prevenção, controle, mitigação e/ou recuperação que podem ser usadas para áreas degradadas por processos erosivos.

	Medidas	Objetivo das Medidas				
		Prevenção	Controle	Mitigação	Recuperação	
Ecológicas	Revegetação	X	X	X	X	
	Pastagem	X	X	X	X	
	Faixa ripariana	X	X	X	X	
	Zonas de buffer	X	X	X	X	
	Barreira de galhos (Brush barrier)	X	X	X		
Agrícolas	Plantas de cobertura	X	X	X		
	Culturas em faixa	X	X	X		
	Cordões de vegetação permanente	X	X	X		
	Faixas de bordadura	X	X	X		
	Alternância de capinas	X	X	X		
	Ceifa do mato	X	X	X		
	Cobertura morta	X	X	X		
	Controle do fogo	X				
	Adubação (verde, química e orgânica)	X	X	X		
	Plantio Direto	X	X	X		
	Rotação de culturas	X	X	X		
Calagem			X			
Bioengenharia	Gabião Vegetado	X	X	X	X	
	Geogrelha vegetada	X	X	X	X	
	Mantas de gramíneas	X	X	X	X	
	Sistemas de celas de confinamento	X	X	X	X	
	Tapete Biodegradável	X	X	X		
Estruturais	Microdrenagem	Meios-fios/Guias	X	X	X	X
		Sarjetas	X	X	X	X
		Bocas-de-Lobo/Bocas coletoras	X	X	X	X
		Galerias	X	X	X	X
		Poços de visita	X	X	X	X
		Tubos de ligações	X	X	X	X
	Caixas de ligação	X	X	X	X	
	Macro-drenagem	Canais: naturais ou artificiais	X	X	X	X
		Dissipadores de energia	X	X	X	X
		Ressalto Hidráulico: Canais abertos		X	X	X
		- Tipo SAF para n° Froude 1,7 a 17		X	X	X
		- Tipo USBR II para n° Froude $\geq 4,5$		X	X	X
		- Tipo USBR III para n° Froude $\leq 4,5$		X	X	X
		- Tipo USBR IV para n° Froude = 2,5 a 4,5		X	X	X
		Barragens	X	X	X	X
		Vertedores: Queda, Calha e Degrau "Cacimbo"		X	X	X
		Bacia de acumulação			X	X
		Bacias dissipadoras		X	X	X
		Proteção de taludes	X	X	X	X
		Aterramento com obras hidráulicas		X	X	X
Obras de Pavimentação		X	X	X	X	
Drenos		X	X	X		
Mecânicas	Plantio em contorno	X	X	X	X	
	Terraceamento	X	X	X	X	
	Sulcos e camalhões em contorno	X				
	Canais escoadouros	X	X	X		
	Barragens	X	X	X		
	Adequação e conservação de estradas vicinais e carreadores	X	X	X		
	Caixas de infiltração	X	X	X		
	Aterramento		X	X	X	
	Rip rap	X	X	X	X	
	Muro de contenção	X	X	X		
	Dique de Proteção	X	X	X		
	Cordões em nível	X	X	X	X	
	Aterramento com resíduo		X	X	X	
	Retaludamento	X	X	X	X	
	Bermas	X	X	X	X	
Barragem de Sedimento	X	X	X			

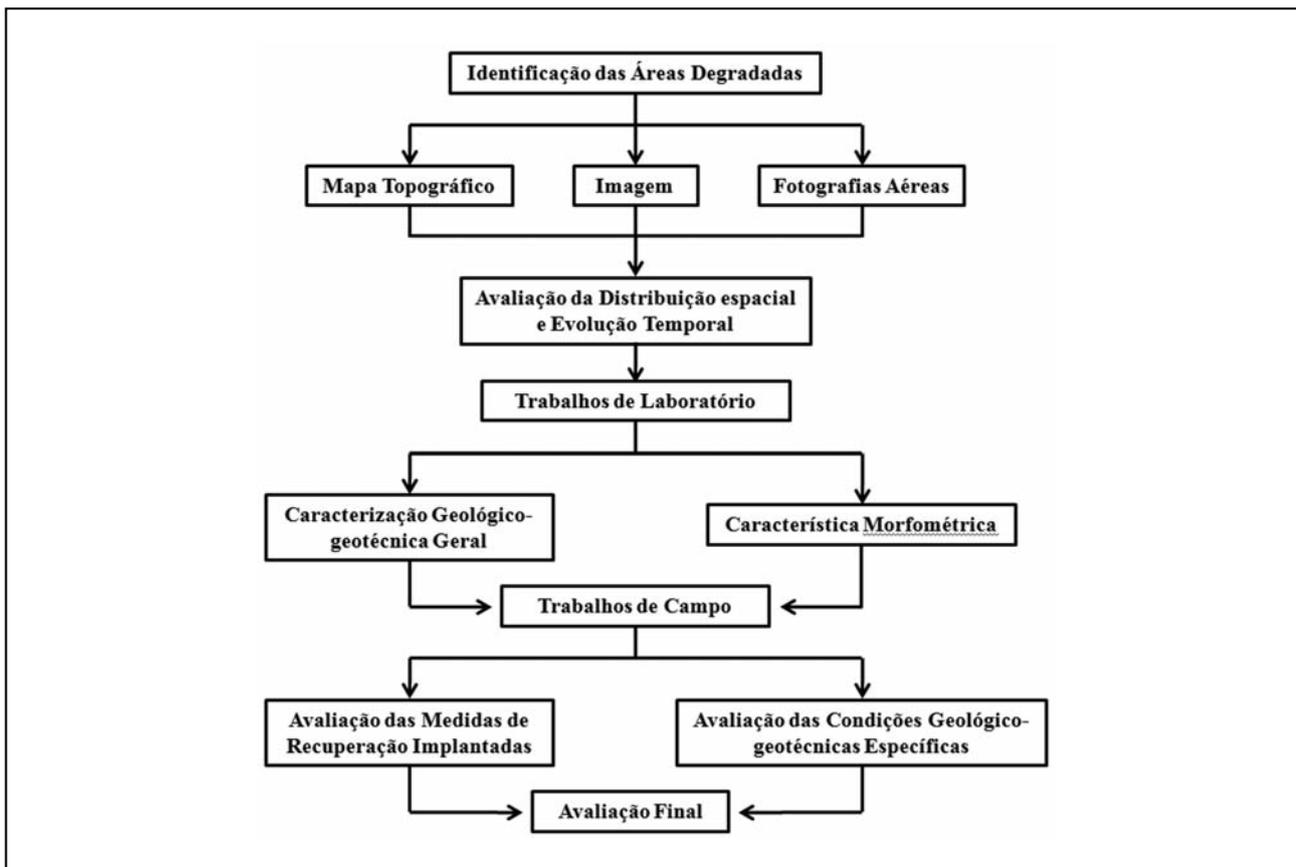


Figura 1. Fluxograma indicando as principais etapas do trabalho.

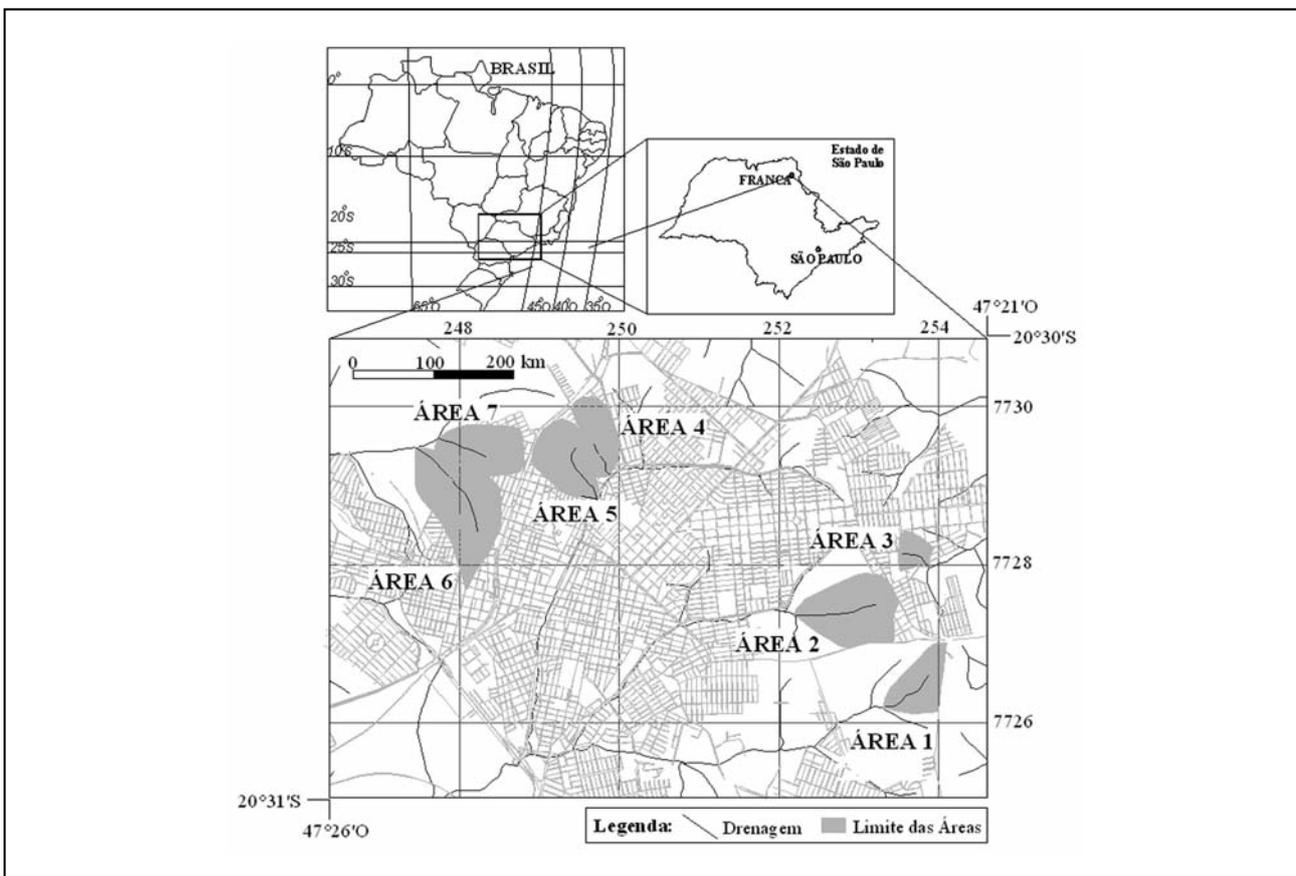


Figura 2. Localização das Áreas de Estudo na região urbanizada do Município de Franca (SP), Brasil.

influência do intenso processo de ocupação urbana associado às características geológico-geotécnicas dos materiais geológicos.

Estas feições apresentam dimensões de até 200 metros de comprimento, 50 metros de largura e 30 metros de profundidade. Atualmente, verifica-se que estas feições sofreram diferentes processos de recuperação, ao longo dos anos, envolvendo sucessos e insucessos bastante particulares.

#### Descrição das medidas de recuperação: Área 1.

A Área 1, apesar de inserida na área urbana, não apresenta elementos construídos, de modo que diferentes estruturas são empregadas, para garantir sua manutenção para usos futuros, relacionados à prevenção dos processos erosivos. Pela observação das fotografias aéreas de diferentes anos, verificou-se nessa área a presença de uma feição principal, de cabeceira e contínua em relação à drenagem. Através dos trabalhos de campo verificou-se que essa feição ainda existe associada às medidas de controle de sua evolução.

Para garantir sua estabilidade, a feição foi parcialmente aterrada, sendo então construída uma barragem com blocos de rocha para evitar a ação erosiva do escoamento acelerado, protegendo o trecho aterrado. Além disso, foram dispostas canaletas em vários trechos das encostas, para direcionar a água de forma disciplinada até uma abertura na barragem (Figura 3). Nas áreas próximas a feição, onde houve movimento de terra, foram plantadas mudas de diferentes espécies vegetais. Essa técnica apresentou dois problemas principais: primeiramente, muitas mudas não se desenvolveram de forma adequada; e ainda, observou-se o surgimento de canais preferenciais associados à sequência de cavas (para a inserção das mudas); conforme pode ser observado na Figura 4. Finalmente, nos trechos mais distantes da feição, foram empregados cordões de nível em conjunto com a cobertura vegetal de gramíneas, com o objetivo principal de conter o escoamento acelerado, protegendo tanto as encostas, quanto impedindo o avanço da feição principal (Figura 5).

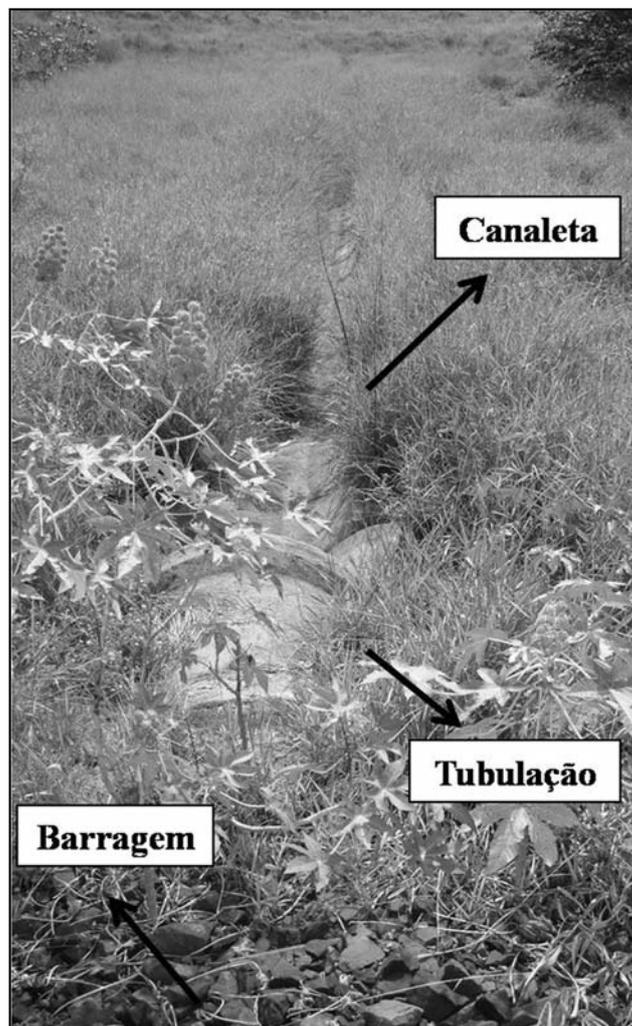


Figura 3. Barragem e canaleta associadas à feição principal.

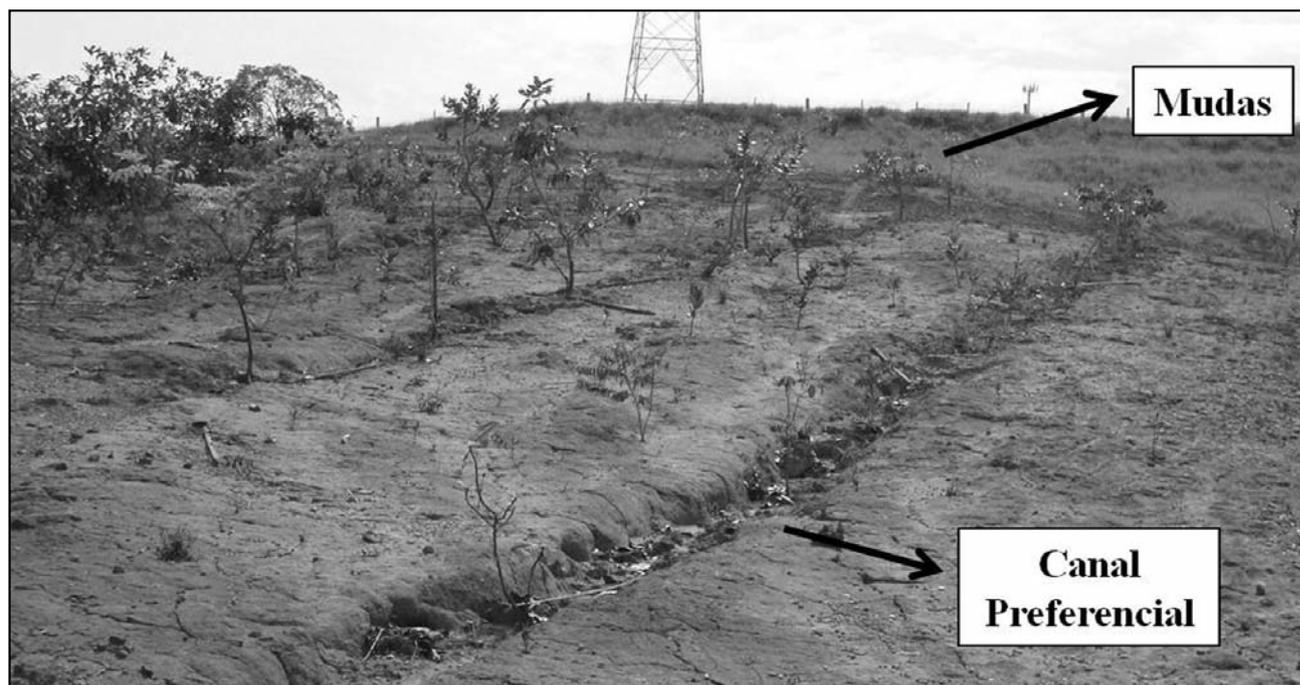


Figura 4. Mudas para revegetação da área na proximidade da feição principal.

Em termos de relevo e da disposição dos materiais geológicos, o perfil representado na Figura 6 mostra esquematicamente a situação geral dessa área. Pela figura pode-se observar a forma como a atividade de recuperação modificou a situação original. O perfil em questão foi gerado a partir da base topográfica de escala 1:12.500; apresentando exagero na escala vertical (sobrelevação) para melhor representação dos diferentes materiais presentes na área.

**Descrição das medidas de recuperação: Área 2.**

A Área 2 é circundada por um bairro residencial, porém, a feição recuperada não é ocupada, nem possui um uso definido. Essa feição foi recuperada através de obras de retaludamento, com a construção de 5 patamares, que foram cobertos por gramíneas. Na base dos taludes de cada patamar existem canaletas, com a função de conduzir a água de chuva para fora do sistema, evitando que esta escoe de forma acelerada para o patamar



Figura 5. Cordões em nível e gramíneas nas encostas da Área 1.

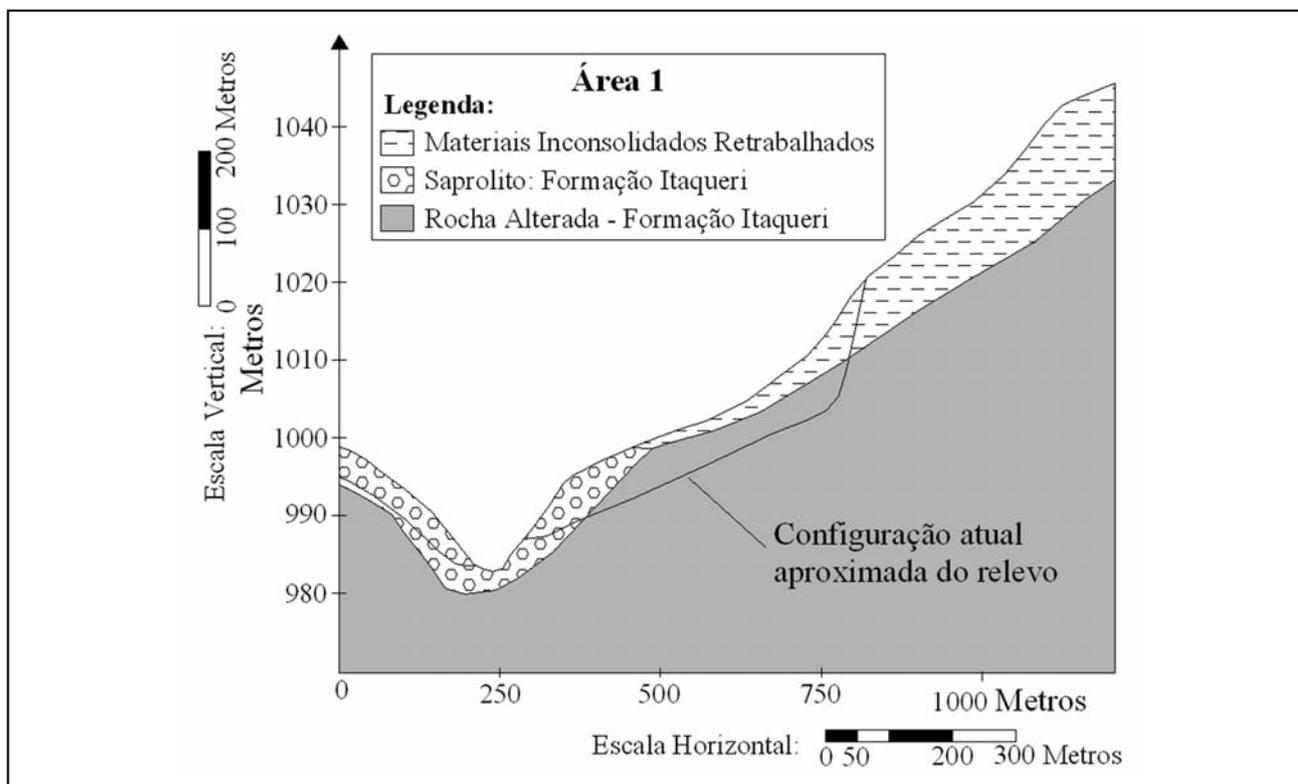


Figura 6. Perfil Geológico com a distribuição dos materiais geológicos e representação da superfície atual e anterior da Área 1. (Sobrelevação igual a 12, sendo o exagero vertical em função da melhor visualização dos materiais representados)

abaixo. Além disso, o canal principal dessa área foi canalizado através de obra de macrodrenagem (Figura 7). A área se apresenta estável, no que diz respeito aos processos erosivos, porém houve o surgimento de três escorregamentos no nível inferior dos patamares, como indica a Figura 8.

Em sequência, a Figura 9 representa o relevo anterior à recuperação, assim como as modificações geradas pelo retaludamento e os materiais geológicos encontrados na área em questão. Esse perfil, gerado a partir da base topográfica 1:12.500 apresenta exagero vertical da ordem de 6,7, aproximadamente, com o objetivo de facilitar a representação dos diferentes materiais.

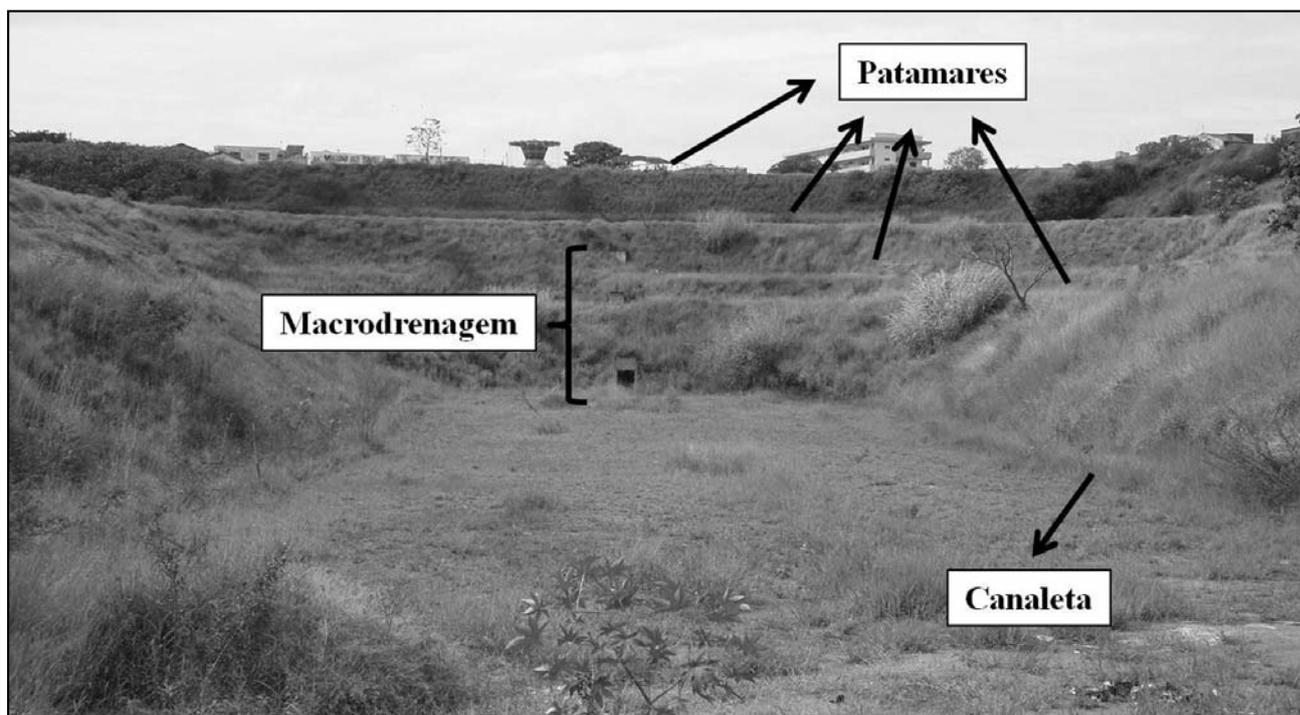


Figura 7. Feição recuperada por retaludamento em associação às obras de micro e macrodrenagem.

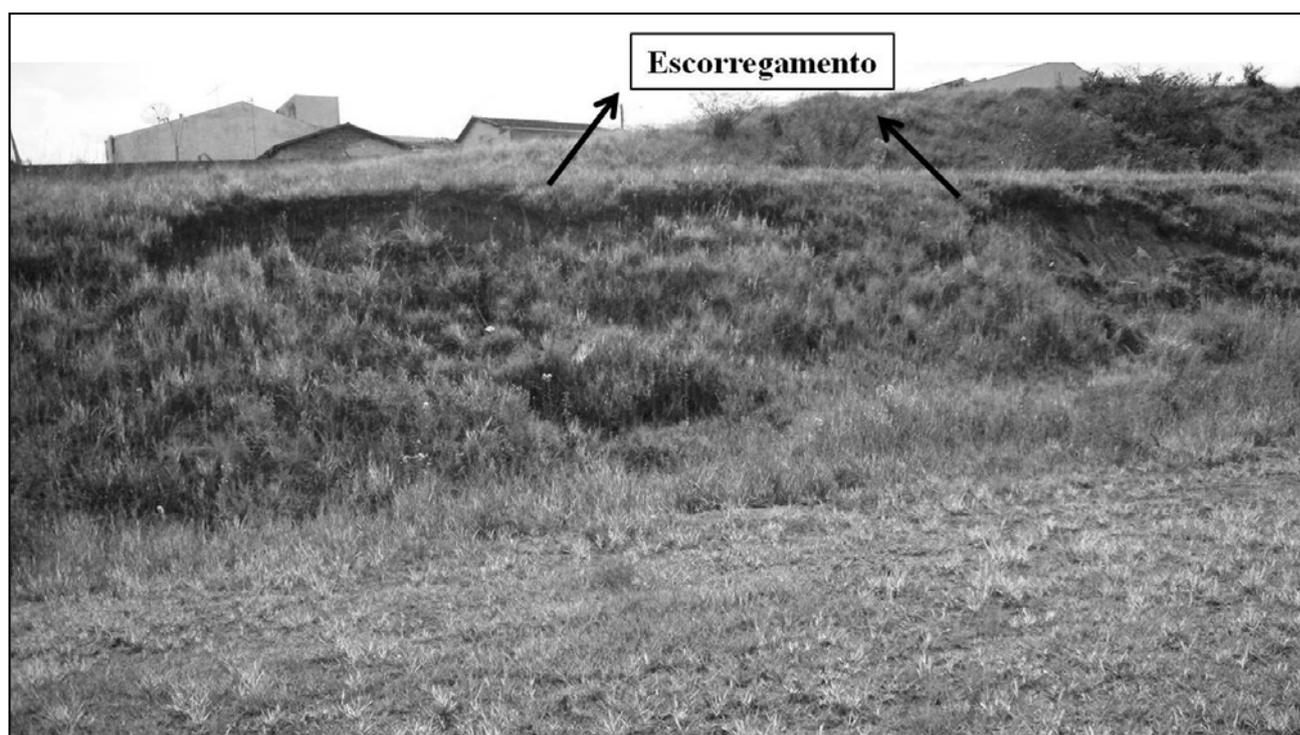


Figura 8. Escorregamento no talude do patamar inferior.

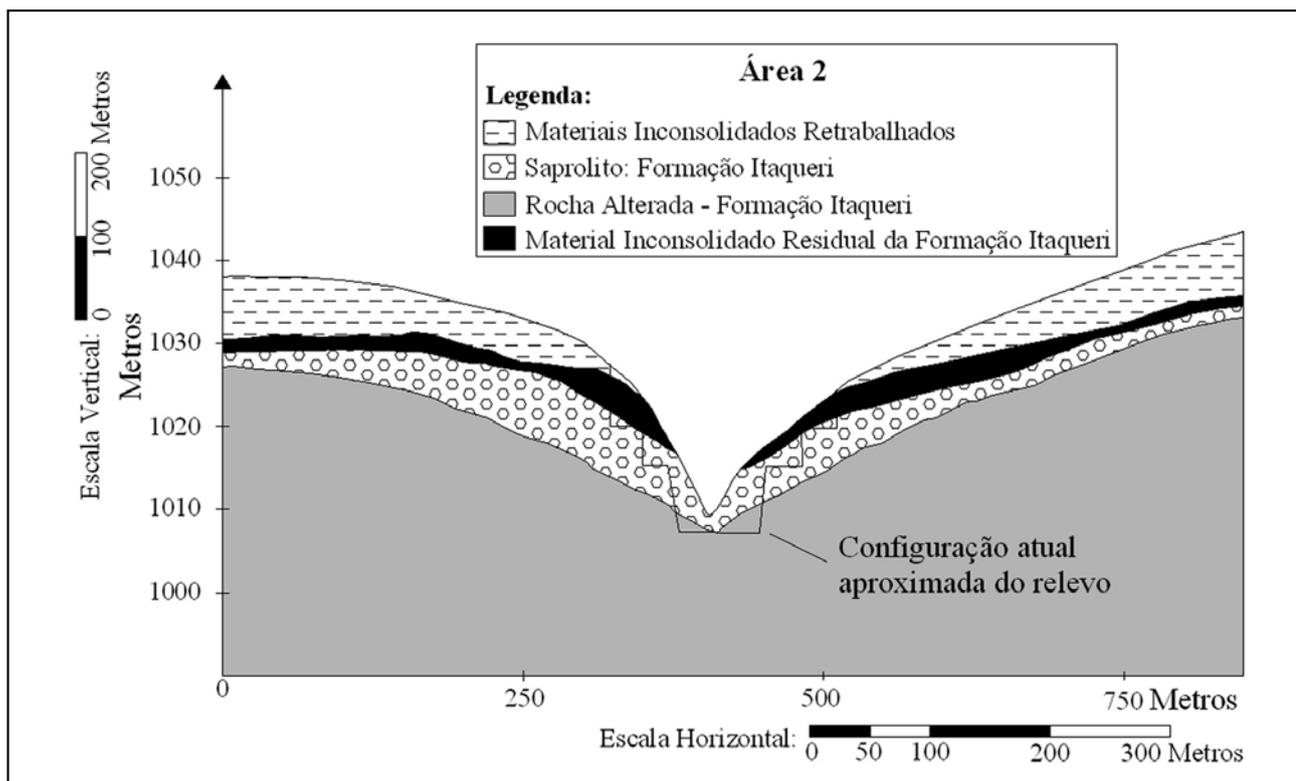


Figura 9. Perfil Geológico com a distribuição dos materiais geológicos e representação da superfície atual e anterior da Área 2 (Sobrelevação 6,7 para facilitar a visualização dos materiais).

**Descrição das medidas de recuperação: Área 3.**

A Área 3 é circundada por um bairro residencial, sendo assim, sua recuperação teve como objetivo conferir um uso à área, em benefício da população local. A reabilitação foi realizada através da construção de um parque, com campos, pista para caminhada, bancos, brinquedos, entre outras estruturas. Para isso, foram realizadas obras de retaludamento e canalização da drenagem, por meio de obras de macrodrenagem (Figura 10).

As bermas principais foram ocupadas por pistas de caminhada, e os trechos inferiores, mais planos, por quadras e outras estruturas de lazer. No geral a área apresenta-se estável, a não ser por surgimento de sulcos nas bases de alguns taludes, como indica a Figura 11, gerados pela concentração de águas pluviais associadas à surgência de água na base de alguns taludes (Figura 12).

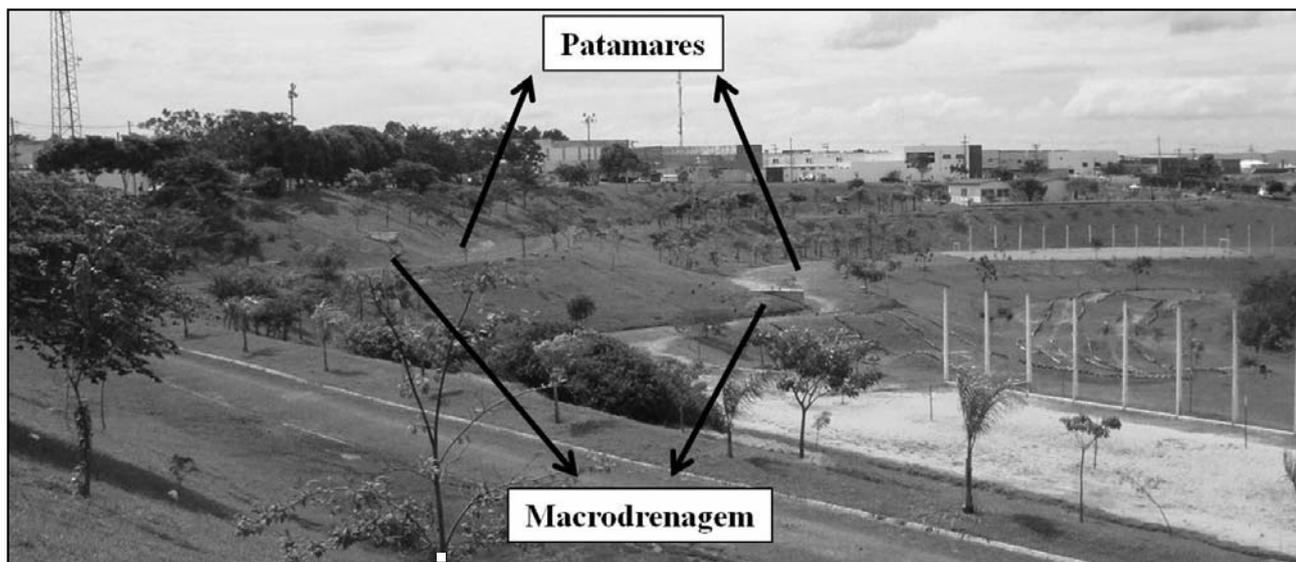


Figura 10. Área reabilitada através da construção de um parque de lazer, com destaque para o retaludamento e obra de macrodrenagem.



Figura 11. Sulcos erosivos em talude da Área 3.



Figura 12. Afloramento de água na base de talude da Área 3.

Observando-se o Perfil da Figura 13, pode-se comparar a configuração original do relevo e a atual, modificada pelas atividades de reabilitação; associadas à disposição dos materiais geológicos. O perfil em questão, gerado a partir da base topográfica de escala 1:12.500, apresenta exagero vertical igual a 10, para facilitar a visualização dos materiais geológicos.

#### Descrição das medidas de recuperação: Área 4.

Esta área corresponde a uma antiga voçoroca que foi aterrada com resíduos sólidos tanto domiciliares quanto industriais. No início dessa prática a feição funcionava como um lixão, recebendo os resíduos sem nenhuma impermeabilização de base, ou princípio de engenharia. Essa situação mudou após alguns anos de operação, mas apenas nas células subsequentes. Em seguida, as atividades foram interrompidas, mas foram retomadas para a deposição de resíduos industriais, sobretudo rejeitos de couro, acrescidos de cromo; sem respeitar normas ou medidas adequadas. Como resultado dessa prática, os líquidos percolados do aterro foram depositados em um córrego a jusante da feição, contaminando suas águas. A feição da Área 4 encontra-se inserida em um bairro densamente ocupado, próximo a uma grande avenida. Atualmente, verificou-se que a área está estabilizada no que se refere aos processos erosivos, mas o problema de contaminação ainda existe. Além disso, apesar da localização privilegiada, a área não pode ser ocupada por elementos construídos, dado o aterro com lixo. Na Figura 14 a seguir, pode-se observar a configuração atual da área, com a presença de antigos queimadores de gás. Em sequência, na Figura 15, tem-se o perfil da Área 4, que indica a configuração original do relevo e a atual, modificada pelo aterro, em relação aos materiais geológicos. O perfil, também gerado a partir da citada base topográfica, apresenta exagero vertical da ordem de 7,7, para melhor visualização dos materiais topográficos.

#### Descrição das medidas de recuperação: Área 5.

Essa área, assim como as demais, consistia em uma feição erosiva de cabeceira, cuja recuperação envolveu obras de macrodrenagem. Porém, esta se deu através da retificação do canal, sem a canalização do mesmo; e em associação, foram dispostos drenos subsuperficiais e estruturas de encaminhamento da água de escoamento pluvial, com saídas para o canal principal. Além disso, no entorno do canal, foi construída uma pista para caminhada, bancos, brinquedos, e outras estruturas sob a forma de um parque. Na Figura 15, observa-se o perfil geológico desta Área, com a distribuição dos materiais geológicos, e a representação da configuração do relevo.

#### Descrição das medidas de recuperação: Área 6 e Área 7.

As áreas 6 e 7 constituem trechos de canais de drenagem que foram parcialmente canalizados em função da construção de uma rodovia. O trecho dos canais a jusante da rodovia foi alterado de modo a evitar os processos erosivos antes a eles associados, garantindo assim a manutenção da via.

Na Área 6, o canal teve parte canalizada, sendo a tubulação recoberta por aterro. Nesse trecho foram construídas canaletas com o objetivo de recolher a água de escoamento pluvial, e encaminha-la de forma disciplinada até o canal principal, que torna a correr a céu aberto (Figura 18). Nesse ponto, para amenizar a ação concentrada da água, há a presença de um dissipador de energia constituído de blocos de alvenaria, conforme indica a Figura 19. Nessa mesma figura, verifica-se a utilização de estruturas de gabião para reforço da estrutura de macrodrenagem.

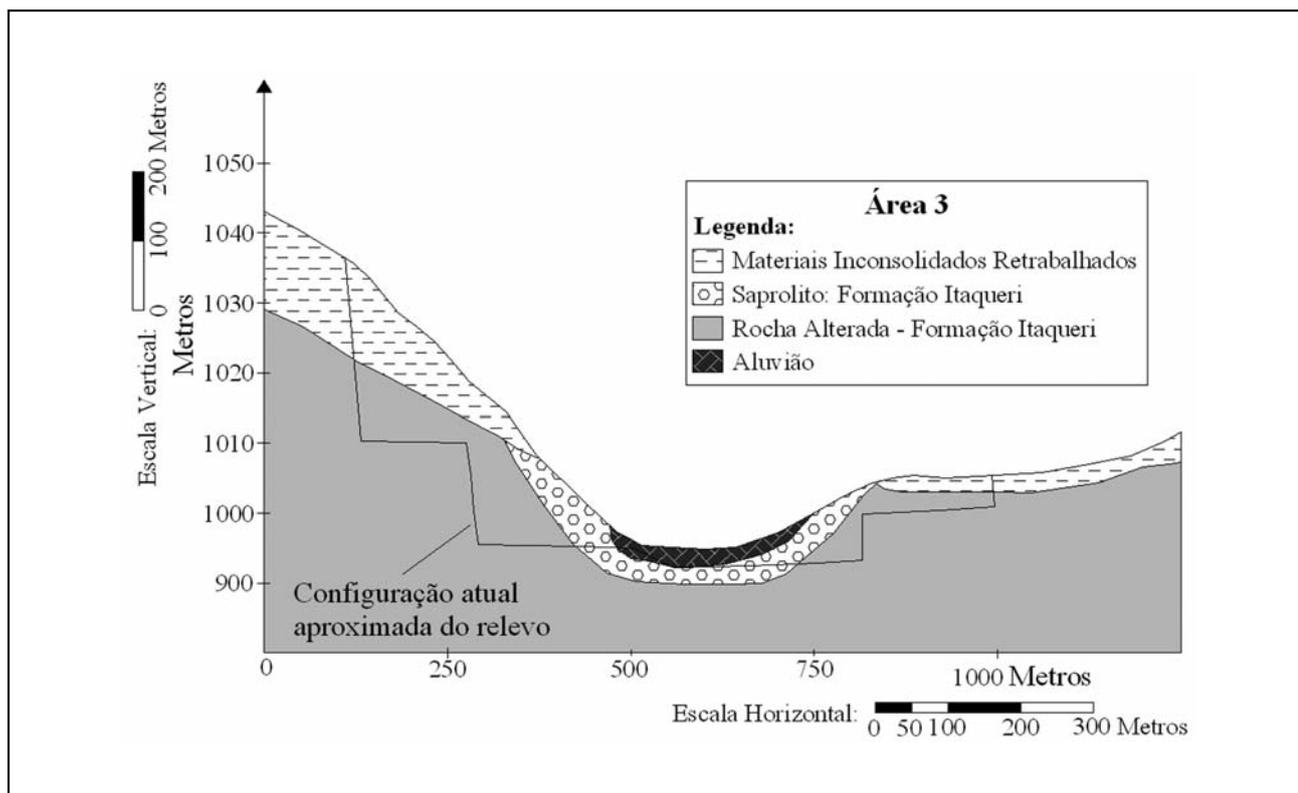


Figura 13. Perfil Geológico com a distribuição dos materiais geológicos e representação da superfície atual e anterior da Área 3 (Sobrelevação 10 para facilitar a visualização dos materiais).



Figura 14. Configuração atual da Área 4, com detalhe de antigos queimadores de gás do aterro sanitário.

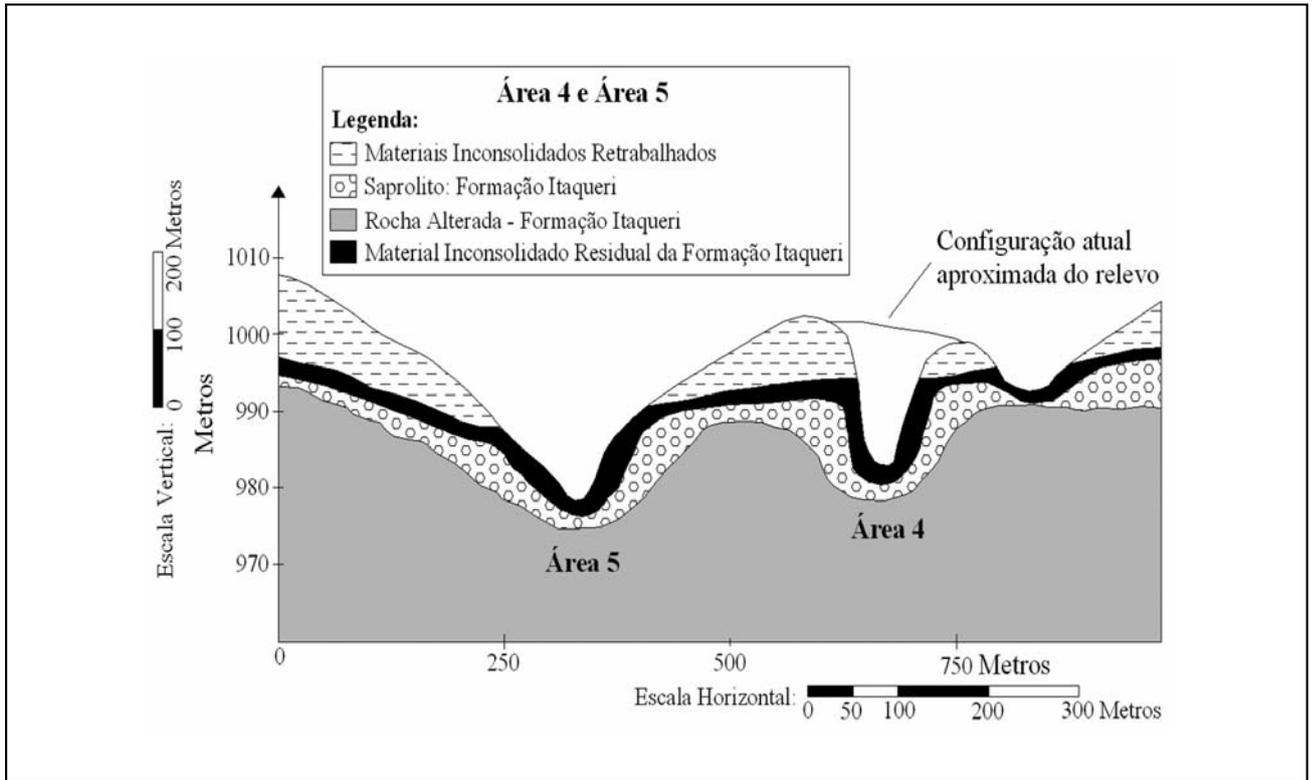


Figura 15. Perfil Geológico com a distribuição dos materiais geológicos e representação da superfície atual e anterior das Áreas 4 e 5 (Sobrelevação igual a 7,7 para facilitar a visualização dos materiais).

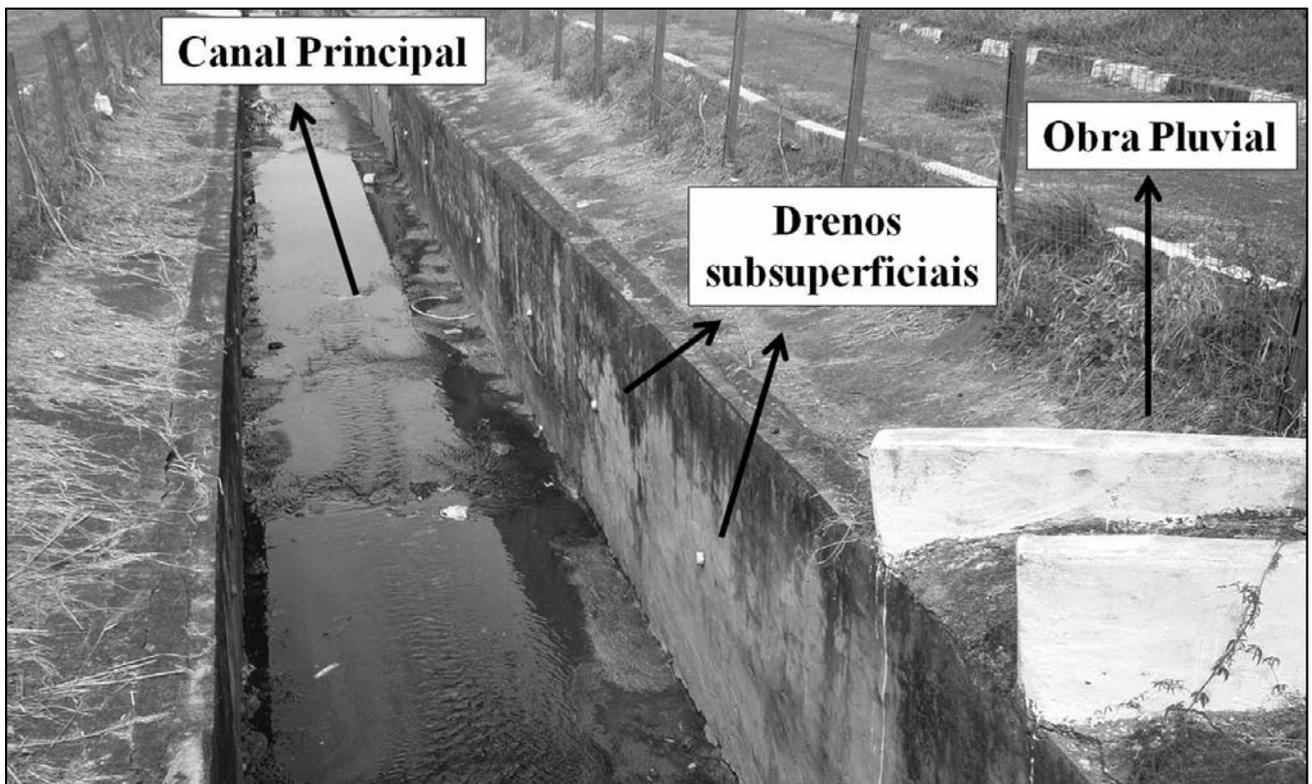


Figura 16. Canal principal com detalhe para os drenos subsuperficiais e obras de drenagem pluvial.



Figura 17. Parque no entorno do canal principal da Área 5.

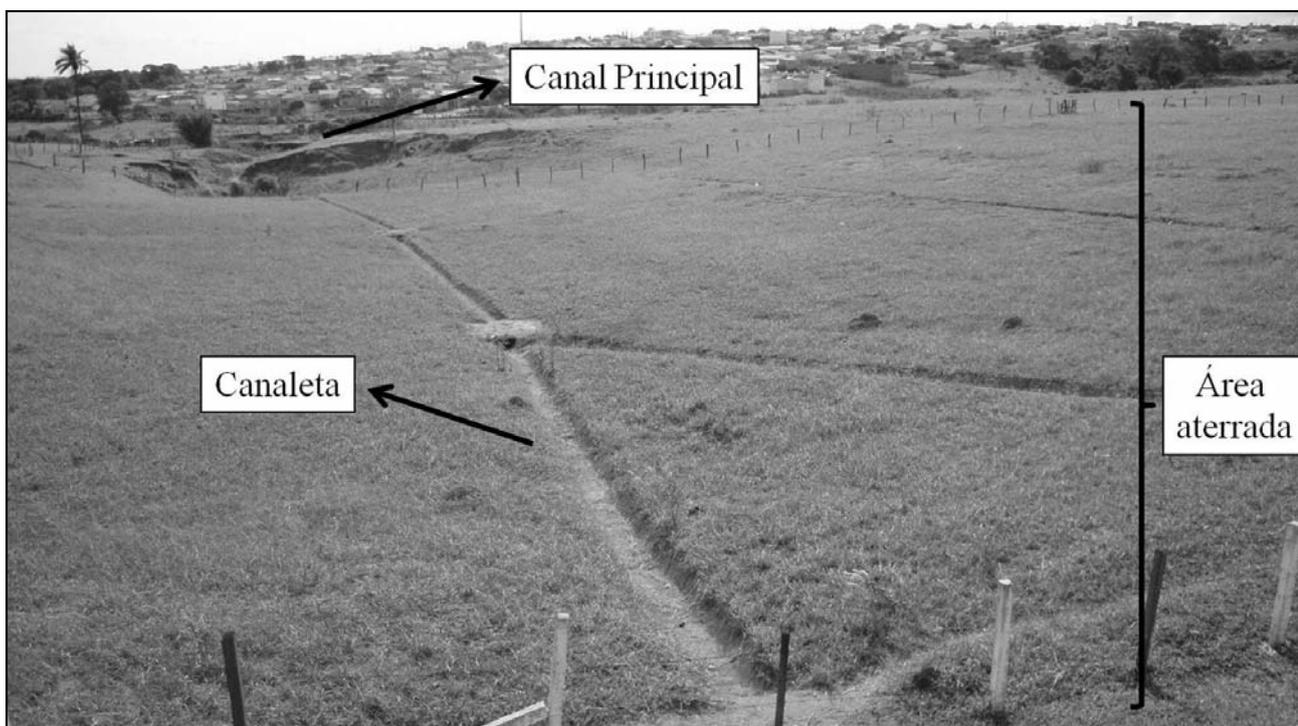


Figura 18. Área aterrada sobre a canalização da drenagem principal da Área 6, com a presença de canaletas para a captação da água de escoamento pluvial.

A Área 7 apresenta configuração muito próxima à Área 6. A drenagem principal foi canalizada, seguida de aterro do trecho próximo à rodovia. Nesse ponto foram construídas canaletas, com o intuito de encaminhar a água pluvial, até o canal principal, de modo a evitar processos erosivos. O canal

principal volta a correr a céu aberto em certo ponto, sendo que, a jusante da abertura de canalização, há um trecho reforçado por telas de arame, configurando um canal bem definido. Porém, a jusante do reforço o canal volta a correr naturalmente (Figura 20).



Figura 19. Fim da canalização do canal de drenagem da Área 6, com a presença de dissipadores de energia na saída da canalização.

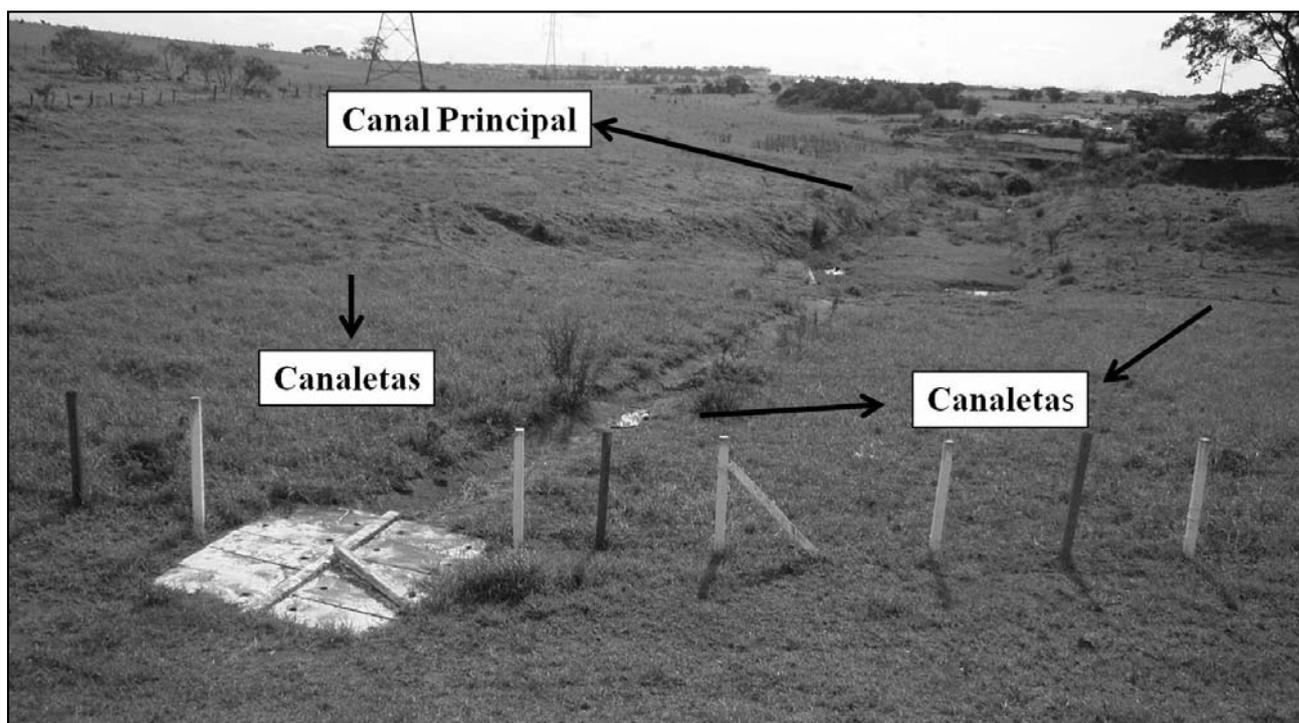


Figura 20. Trecho aterrado com presença de canaletas, seguido do canal principal, sem canalização.

O perfil representado pela Figura 21 indica a disposição dos materiais geológicos, assim como a configuração atual e original do relevo, tanto da Área 6, quanto da Área 7. Este perfil foi gerado a partir da base topográfica de escala 1:12.500, e

apresenta exagero vertical igual a 12,5 com o intuito de melhor representar os materiais geológicos.

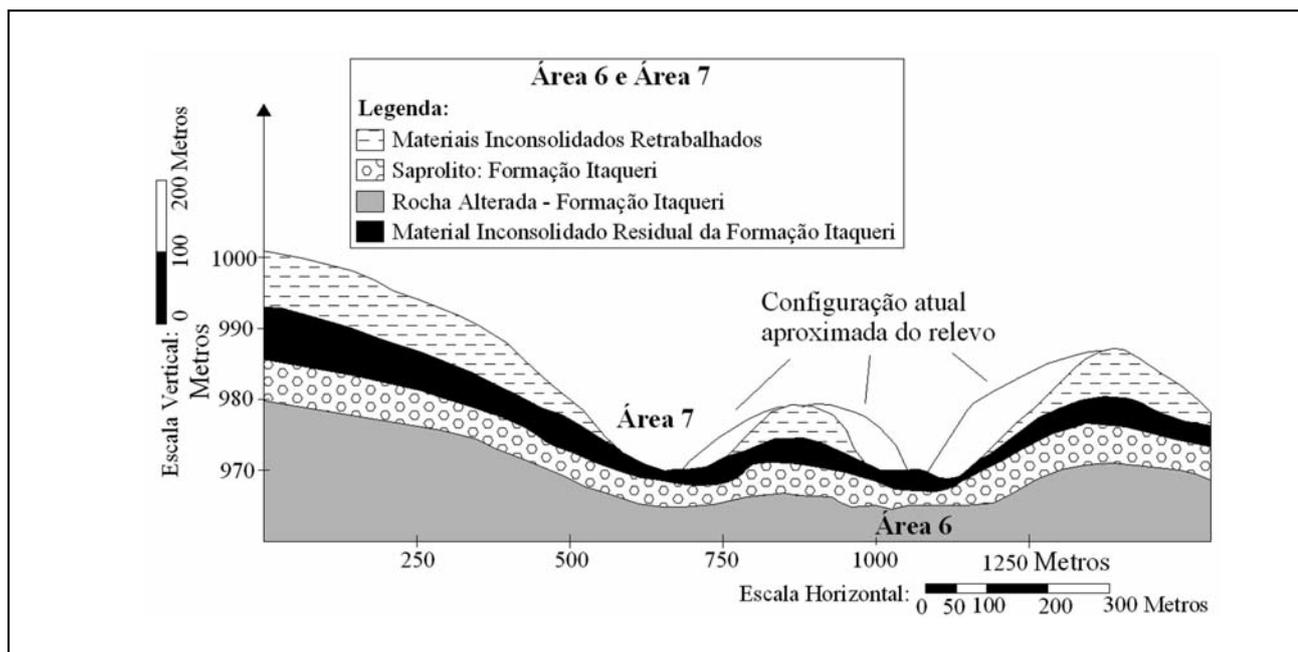


Figura 21. Perfil Geológico com a distribuição dos materiais geológicos e representação da superfície atual e anterior das Áreas 6 e 7.

## ANÁLISE DOS PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO

### Área 1

O processo de recuperação dos processos erosivos da Área 1 teve como principal objetivo controlar a evolução da feição erosiva, sem recuperá-la completamente. Também foi verificada a preocupação em prevenir os processos erosivos nas encostas adjacentes à feição principal. Nesse contexto, as principais considerações acerca do processo de recuperação dos processos erosivos nessa área estão sumarizadas na Tabela 2 a seguir.

### Área 2

A área 2 teve sua feição erosiva totalmente recuperada, porém, o projeto final não conferiu nenhum uso definido para o local. Dado que o entorno dessa feição compreende um bairro bastante povoado, pode-se dizer que o fator social do projeto foi falho, principalmente se considerados os custos associados. A Tabela 3 indica as principais técnicas empregadas nesse local, e as principais considerações sobre as mesmas.

### Área 3

A feição principal da Área 3 foi totalmente recuperada, sendo que foi conferido um novo uso ao local, o que configurou seu projeto como sendo de reabilitação. Esse tipo de ação trás benefícios tanto ambientais, quanto sociais. As principais técnicas empregadas nesse projeto estão descritas e analisadas na Tabela 4.

### Área 4

A Área 4 envolveu a recuperação da voçoroca inicial por meio do aterro com resíduos sólidos. Essa medida, apesar de recuperar totalmente a feição, e de torná-la estável, criou um novo problema ambiental muito mais sério do que o anterior: a contaminação tanto do solo, quanto do nível freático, e da

drenagem localizada a jusante. As principais considerações sobre essa Área estão sumarizadas na Tabela 5.

### Área 5

A Área 5 compreende uma antiga feição de cabeceira, cuja recuperação optou por deixar o canal principal a céu aberto. Em associação à obra de madrodrenagem, foi construído um parque que conferiu um uso por parte da população local. As principais implicações dessas técnicas podem ser observadas na Tabela 6.

### Áreas 6 e 7

Essas áreas apresentaram projetos de recuperação muito semelhantes, sendo que a principal característica dos mesmos relaciona-se à manutenção da rodovia associada, e não das feições erosivas propriamente ditas. As questões relacionadas às técnicas empregadas nessas áreas estão descritas na Tabela 7.

## CONCLUSÃO

O estudo conjunto das características geológico-geotécnicas, do processo erosivo, assim com das medidas de controle e recuperação de erosão de cada área estudada, possibilitou a análise da eficiência e adequação das mesmas. De maneira geral, os processos erosivos foram estabilizados, em quase todas as áreas, porém alguns dos problemas relacionados às técnicas de recuperação se repetiam, sendo estes, principalmente: a não construção ou subdimensionamento de obras de microdrenagem; a ausência de drenos subsuperficiais em áreas de cabeceira e a falta de manutenção das estruturas construídas. Nas Áreas 1, 6 e 7, por sua vez, foram verificados casos onde as medidas adotadas levaram à reativação ou agravamento do processo erosivo, indicando claramente a ausência de critérios técnicos para escolha e dimensionamento das estruturas.

Outra questão importante que se verificou com esse trabalho refere-se à alteração da configuração original do relevo.

Tabela 2. Análise da eficiência das técnicas de recuperação de erosão empregadas na Área 1.

Técnica empregada	Considerações
<b>Aterro</b>	O aterro parcial da feição mostrou-se efetivo no controle do avanço da principal feição erosiva do local. Foi utilizado solo do próprio local, com a presença de algumas estruturas de micro e macrodrenagem associadas, buscando a manutenção dessa medida. A presença de drenos ou de estruturas de macrodrenagem é essencial para a eficiência desse tipo de técnica, assim como a análise da viabilidade do material inconsolidado a ser empregado.
<b>Barragem de bloco de rochas</b>	Essa estrutura mostrou-se eficiente no controle do processo erosivo desse local, uma vez que sua função era barrar o escoamento acelerado, impedindo-o de alcançar trechos estáveis da voçoroca. Esse tipo de estrutura deve envolver uma série de questões técnicas relacionadas ao material a ser utilizado, as estruturas de drenagem que devem ser empregadas de forma associada, entre outros.
<b>Revegetação</b>	A revegetação é uma medida bastante usada para o controle e prevenção de erosão. No caso da área 1 essa medida não foi empregada de forma correta, uma vez que as mudas mostraram baixo desenvolvimento. A escolha das espécies a serem empregadas deve envolver análises do solo e também do clima da região, sendo que espécies nativas devem ser priorizadas. Outro problema que essa técnica apresentou foi o surgimento de um canal preferencial para o escoamento nas cavas do plantio.
<b>Microdrenagem</b>	Essa técnica foi observada sob a forma de canaletas ao longo das encostas, que encaminham a água de escoamento para uma tubulação a montante da barragem. Verificou-se que o número de canaletas ao longo da área é baixo, indicando a ausência de cálculos de vazão e relativos à área de captação dessa drenagem. As declividades em que essa técnica foi empregada eram muito elevadas, o que contribui para a formação do escoamento acelerado. E ainda, identificou-se que não há manutenção dessas estruturas, dada a presença de solo e de vegetação em seu interior.
<b>Cordões em Nível</b>	Estes mostraram-se eficientes na prevenção dos processos erosivos nas encostas, de modo que as dimensões do cordão, e o espaçamento entre estes seguiu o recomendado. E ainda, verificou-se que atividades de manutenção dessas estruturas são periodicamente realizadas.
<b>Cobertura vegetal de gramínea</b>	A presença de cobertura vegetal de gramínea nas encostas, associada aos cordões de nível mostrou-se eficiente no processo de prevenção do processo erosivos no local.

Tabela 3. Análise da eficiência das técnicas de recuperação de erosão empregadas na Área 2.

Técnica empregada	Considerações
<b>Retaludamento</b>	O retaludamento foi bem executado, dada a estabilidade da feição, verificada em campo. No último patamar foram identificados escorregamentos, conseqüentes da alteração da geometria original dos taludes, que expôs a superfície materiais geológicos mais suscetíveis à erosão.
<b>Macro drenagem</b>	Esse tipo de técnica envolve altos custos, sendo assim, o projeto prévio deve ser bem executado, evitando-se falhas, e buscando-se alterar o mínimo possível as condições naturais locais. Nessa área foi adotada a canalização subterrânea do canal de drenagem. Essa estrutura foi bem dimensionada, encaminhando o fluxo do canal principal para um trecho a jusante, de forma disciplinada.
<b>Microdrenagem</b>	Essa técnica foi observada sob a forma de canaletas na base dos taludes dos diferentes patamares. Essa estrutura foi bem dimensionada, porém verificou-se a ausência de manutenção da mesma, dada a presença de solo e de vegetação no seu interior, o que pode levar ao acúmulo de água, e até mesmo o surgimento de escoamento entre os patamares em períodos mais chuvosos.
<b>Cobertura vegetal de gramínea</b>	A presença de cobertura vegetal de gramínea nos taludes e bermas mostraram-se bastante eficiente na manutenção dessa estrutura.

Tabela 4. Análise da eficiência das técnicas de recuperação de erosão empregadas na Área 3.

Técnica empregada	Considerações
<b>Retaludamento</b>	O retaludamento realizado nessa área foi bastante efetivo, recuperando totalmente a feição inicial. Sua aplicação buscou alterar o mínimo possível a configuração original do relevo. Porém, em alguns taludes verificou-se o afloramento de água. Dada essas condições, verifica-se a necessidade da adoção de drenos em áreas de cabeceira, ou de estruturas de microdrenagem que evitem as formações de escoamentos acelerados, sobretudo em períodos chuvosos. Observou-se também a presença de sulcos em alguns pontos dessa área, indicando a necessidade de obras de microdrenagem, inexistentes no local, dada a alta suscetibilidade dos materiais geológicos.
<b>Macro drenagem</b>	Nessa área foi adotada a canalização subterrânea do canal de drenagem. Essa estrutura foi bem dimensionada, encaminhando o fluxo do canal principal para um trecho a jusante, de forma disciplinada.
<b>Cobertura vegetal de gramínea</b>	A presença de cobertura vegetal de gramínea nos taludes e bermas mostrou-se bastante eficiente, porém verifica-se a necessidade de manutenção dessa estrutura, uma vez que a área é bastante frequentada, envolvendo o pisoteamento dessa vegetação.

Tabela 5. Análise da eficiência das técnicas de recuperação de erosão empregadas na Área 4.

Técnica empregada	Considerações
<b>Aterro com resíduos sólidos</b>	O aterro de uma área com resíduos sólidos deve envolver uma séria de questões de engenharia, tais como a impermeabilização de base, a construção de drenos para encaminhamento do chorume, entre outras. Dado que a Área 4 consistia em uma antiga voçoroca de cabeceira, e conhecida a ausência de técnicas de preparação para recebimento de resíduos, pode-se afirmar que essa medida foi totalmente inadequada, mesmo com a estabilidade física atual. A escolha de uma área para aterro com lixo deve ser criteriosa, assim como a adoção de medidas de preparação do local. A prática de aterrar feições erosivas com lixo, apesar de comum no Brasil, é inadequada, dado o impacto ambiental e social decorrentes.
<b>Microdrenagem</b>	No que se refere aos processos erosivos, verificou-se que a área não apresenta estruturas de drenagem, de modo que situações de escoamento acelerado podem ser geradas, vindo a reativar os processos erosivos.
<b>Cobertura vegetal de gramínea</b>	A presença de vegetação de gramínea no local contribui para a prevenção da reativação dos processos erosivos no local.

Tabela 6. Análise da eficiência das técnicas de recuperação de erosão empregadas na Área 5.

Técnica empregada	Considerações
<b>Macro drenagem</b>	O canal da Área 5 foi retificado, e não canalizado como em muitos casos. Em associação foram dispostos drenos subsuperficiais na área de entorno do canal, com saídas para o mesmo, o que contribuiu para o sucesso do processo de recuperação dessa área, sobretudo na manutenção das encostas laterais aos canais. Essas estruturas necessitam de dimensionamento prévio da vazão para determinar condições estruturais essenciais. Caso contrário, em períodos mais chuvosos as estruturas podem ser destruídas, e o processo erosivo reativado.
<b>Microdrenagem</b>	Foram também construídas estruturas de encaminhamento das águas pluviais para o canal principal, contribuindo para a manutenção das encostas laterais. O dimensionamento dessas estruturas mostrou-se adequado, garantindo o sucesso do conjunto de técnicas aplicadas.

Tabela 7. Análise da eficiência das técnicas de recuperação de erosão empregadas nas Áreas 6 e 7.

Técnica empregada	Considerações
<b>Macro drenagem</b>	Os canais principais foram parcialmente canalizados, e em certo ponto retornaram ao escoamento a céu aberto. Nos dois casos as estruturas de macrodrenagem foram mal dimensionadas, uma vez que, à jusante do fim da canalização, o processo erosivo foi acelerado, levando ao surgimento de novas voçorocas de grande porte. A concentração do fluxo desses canais exige uma maior preocupação com a continuidade do canal. O dimensionamento das estruturas de drenagem, nesse caso, deve ser criterioso, assim como de técnicas a serem utilizadas em associação.
<b>Microdrenagem</b>	Além da canalização do canal principal, foram utilizadas canaletas para concentração da água de chuva, e encaminhamento da mesma até o canal principal. Essas estruturas têm ainda função de proteger o aterro do trecho em que o canal principal está canalizado. Em termos de eficiência, as canaletas mostram-se insuficientes, uma vez que algumas dessas estruturas foram destruídas. Outra questão associada às canaletas consiste na concentração do fluxo junto ao canal principal, na saída da canalização, contribuindo assim para a evolução das feições de grande porte encontradas a jusante dessa estrutura.
<b>Aterro</b>	O aterro do trecho mais próximo à rodovia, em que o canal principal foi canalizado mostrou-se bastante estável, dada a presença das estruturas de drenagem à ele associadas.
<b>Dissipador de Energia</b>	Na Área 6, foram dispostos blocos de concreto na saída da tubulação para diminuir a velocidade do escoamento do canal principal. Porém, dado o surgimento de uma nova feição a jusante, tem-se que essa estrutura foi ineficiente. Sua aplicação deve considerar a vazão de escoamento, de modo a determinar aspectos estruturais.
<b>Gabião</b>	Na Área 6, estruturas de gabião foram empregadas para reforçar o aterro e a macrodrenagem, sendo esse objetivo alcançado com êxito.
<b>Telas de arame</b>	Na Área 7, telas de arame foram dispostos nas bordas no canal principal, após a abertura da canalização. Essa técnica foi eficiente em garantir a estabilidade das margens do canal nesse ponto. Porém a ausência dessa estrutura ao longo de todo o canal contribuiu para a evolução de uma feição erosiva de grande porte a jusante.

Em muitos casos a modificação do relevo acaba expondo materiais geológicos que não afloravam, alterando assim o comportamento desse local frente aos processos erosivos.

A partir dessas considerações e das análises individuais de cada área, pode-se concluir que os principais problemas relativos à recuperação de áreas degradadas relacionam-se com a não consideração das características ambientais, e das características dos materiais geológicos. Soma-se ainda a falta de estudos

de adequação das medidas a serem empregadas, tanto no que diz aos atributos físicos, quanto ao cenário social em que se inserem. A falta de estudos e de maiores critérios na execução dos projetos de recuperação, em alguns casos, levou a ocorrência de perdas tanto econômicas quanto ambientais, indicando assim a necessidade de mudança de paradigma das ações de recuperação de áreas degradadas por erosão no Brasil.

## TRABALHOS CITADOS NO TEXTO

- AYRES, Q. C. (1936)  
Soil Erosion and its Control.  
*McGraw Hill Book Company, New York and London, 365p.*
- BERTONI, J. E LOMBARDI NETO, F. (1993)  
Conservação do solo.  
*3 ed. São Paulo: Editora Ícone, 355p.*
- BIDONE, F. E TUCCI, C. E. M. (1995)  
Microdrenagem.  
*In: Tucci, C. E. M., Porto, R. L. L., Barros, M. T. Drenagem Urbana. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, cap.3, pp.77-106.*
- DAEE (1989)  
Controle de erosão: bases conceituais e técnicas, diretrizes para planejamento urbano e regional; orientação para o controle de boçorocas urbanas.  
*2ª ed. São Paulo: DAEE/IPT.*
- FAO. (1986)  
Manual gully control.  
*Rome, Itália. 20p.*
- FENDRICH, R. (1997a).  
Erosão Urbana.  
*In: Fendrich, R. et al. Drenagem e controle da erosão urbana. Curitiba: Editora Ibrasa/Champagnat, cap. 1, pp.17-49.*
- FENDRICH, R. (1997b).  
Hidrologia aplicada.  
*In: Fendrich, R. et al. Drenagem e controle da erosão urbana. Curitiba: Editora Ibrasa/Champagnat, cap. 3, pp.125-194.*
- KOEPPEN, W. (1948).  
Climatología, com um Estudio de los Climats de la Tierra.  
*Mexico: Fondo de Cultura Economica, 478p.*
- LAL, R. (1990)  
Soil erosion in the tropics - principles and management.  
*McGraw-Hill, New York, 580p.*
- MORGAN, R.P.C., QUINTON, J. N. AND RICKSON, R. J (1994).  
Modelling methodology for soil erosion assessment and soil conservation design: EUROSEM approach.  
*Outlook on Agriculture, v.3, pp.5-9.*
- MORGAN, R.P.C. (1995)  
Soil erosion & Conservation.  
*EUA: Editora Essex, Longman Scientific & Technical, 3th, 298p.*
- OREA, D.G. (2004).  
Recuperación de espacios degradados.  
*Ediciones Mundi\_prensa. Madrid. 584pp.*
- RIDENTE JUNIOR, J.L. (1999)  
Caracterização de erosões e diretrizes para o controle corretivo e preventivo em bacias de contribuição do alto do Araguaia, GO/MT.  
*In: 9º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. ABGE. São Pedro, São Paulo.*
- SALOMÃO, F. X. T. E IWASA, O. Y. (1995)  
Erosão e ocupação rural e urbana.  
*In: Bitar, O. Y. Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. pp. 31-57.*
- SOUZA, M. L. (2001)  
Proposta de um Sistema de Classificação de Feições Erosivas voltados a Estudos de Procedimentos de Análises de Decisões quanto a Medidas Corretivas, Mitigadoras e Preventivas: Aplicação no Município de Umarama (PR).  
*Tese (Doutorado). UNESP. Rio Claro. 284p.*
- TRAGSA, TRGSATEC Y MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (1998)  
Rhidrológico florestal de cuencas y control de la erosion.  
*Editora Mundi-Prensa. Madrid. 946pp.*

ZACHAR, D. (1982)

Soil erosion.

*Elsevier Scientific Publishing Company. Zvolen, Czechoslovakia. 547p.*

ZUQUETTE, L. V., PEJON, O. J., SINELLI, O., GANDOLFI, N. (1994)

Carta de riscos potenciais à erosão - Cidade de Franca (SP), Escala 1:25.000 (Brasil).

*In: RICALDI, V., FLORES, C., ANAYA, L., PRADEL, F. Investigaciones sobre los riesgos geológicos em ciudades de America Latina.*